TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

TEEMU MAJANDER

TUOTERAKENNE TULEVAISUUDEN KAIVOSPORALAITTEILLE

Diplomityö

Tarkastaja: professori Erno Keskinen

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja
materiaalitekniikan tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 14. joulukuuta 2010

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Konetekniikan koulutusohjelma
MAJANDER, TEEMU: Tuoterakenne tulevaisuuden kaivosporalaitteille
Diplomityö, 77 sivua
Toukokuu 2011
Pääaine: Konejärjestelmien suunnittelu
Tarkastaja: professori Erno Keskinen
Avainsanat: Tuoterakenne, modulaarisuus, varioituvuus, konfigurointi, tuotetiedon hallinta

Yritykset pyrkivät vastaamaan asiakkaiden kasvaviin vaatimuksiin suunnittelemalla tuotteita, joiden ominaisuuksia kyetään muuntelemaan. Tuoterakenne luo perustan niin täsmällisen tuotetiedon muodostamiselle kuin myös tuotteiden muuntelulle. Tuoterakenne on myös työkalu, jota yrityksen tilaus-toimitusketjun eri toimijat käyttävät omassa työssään, ja jokaisella on omat vaatimuksensa sen toiminnasta.

Tämän työn tavoitteena oli muodostaa tuoterakenne SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION Oy:n maanalaisten kaivosporalaitteiden tulevaisuuden laitekannalle. Yhtiössä on aiemminkin pohdittu laitteiden tuoterakenteen muotoa, joten työssä ei haluttu muodostaa täydellistä ratkaisua. Tarkastelu tehtiin ylemmällä tasolla, ja työn lopullisena antina oli löytää nykyisen tuoterakenteen ongelmakohdat tulevaisuuden laitteiden kehittämisessä, muodostaa käsin kosketeltava vaihtoehto nykyiselle tuoterakenteelle ja osoittaa sen käyttökelpoisuus.

Työ jakaantuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa esitellään työn teettänyttä yritystä ja tarkastelussa olevat laitteet. Toinen osa on teoriaosuus, jossa esitellään tuoterakenteeseen liittyvää teoriaa sekä siihen liittyviä asioita, kuten modulaarisuus, asiakaskohtainen muuntelu, varioituvuus sekä tuotetiedon hallinta. Kolmas osuus on soveltava osuus, jossa esitellään ja analysoidaan yhtiön nykyistä tuoterakennetta ja sen hallintaa, esitellään vaihtoehtoiset tuoterakenteet tulevaisuuden laitteille ja vertaillaan niiden keskinäistä paremmuutta. Jatkokehittelyyn valitulle tuoterakenteelle tehdään kolmelle moduulille rajapinta-analyysi sekä tutkitaan rakenteen ja suunnitteluympäristöjen yhdistämistä. Soveltavan osuuden lopuksi tutkitaan yhtiön Tampereen tehtaalla käyttöön otettavan PDM-järjestelmän ominaisuuksia ja niiden hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuuden laitekannan tuoterakenteelle.

Työ osoittaa, että – ottaen huomioon ennalta asetetut tavoitteet - tuoterakenteen muodostamiselle ei löydy yhtä selkeästi parasta vaihtoehtoa. Jatkokehittelyyn viedyn tuoterakenteen käyttö osoittautui haasteelliseksi juuri niiltä osin, missä laitteiden nykyisen tuoterakenteen vahvuudet olivat. Työn aikana löydettiin kuitenkin menetelmiä näiden haasteiden voittamiseen sekä osoitettiin myös, miten valittu tuoterakenne palvelisi nykyistä paremmin tulevaisuuden tuoteprojekteissa.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
MAJANDER, TEEMU: Product structure for future mining drill rigs
Master of Science Thesis, 77 pages
May 2011
Major: Machine Design
Examiner: Professor Erno Keskinen
Keywords: Product structure, modularity, variation, configuration, product data management

Companies are trying to meet the growing demands of customers' with the design of products in which its properties can be modified. Product structure creates the basis for the creation of exact product data as well as the alteration of product properties. Product structure is also a tool for different segments in company's order-to-delivery cycle and each of them has different requirements for its performance.

The objective of this thesis was to develop a product structure for future underground mining drill rigs of SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION Oy. There have been other similar projects in the company in recent years so forming a final solution for product structure was not desired. The study was conducted on a higher level and the final emission of the thesis was to identify the problems with current product structure considering the development of future mining drill rigs, to form a tangible alternative to current product structure and to proof its usability.

The thesis is divided into three parts. In the first part, the company and the drill rigs studied in the thesis are introduced. The second part is the literature study part, where theories of product structure as well as theories related to the matter, such as modularity, customer-based modification, variation and product data management, are presented. The third part is the research part, where the current product structure of the drill rigs as well as its management are presented and analysed, alternative structures are presented and compared with the current one. One structure was chosen for closer study where interface analysis for three modules was done and combining the product structure and design environments was tested. At the end of the research part, the new PDM software and its properties were analysed in order to find new methods for product data management for product structures of future rigs.

The study indicates that given the projected goals for this thesis, there is no clearly best solution to form a product structure. The structure chosen for closer study proved to be challenging where the current structure had its strengths. However, during this thesis methods were found to overcome those challenges and it was also shown how the proposed product structure would serve the future drill rig projects better than the current one.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Sandvik Mining and Construction Oy:lle Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiön rahoituksella. Olin ennen työn aloittamista työskennellyt kahtena kesänä harjoittelijana yhtiön Tampereen tehtaalla kaivos- ja tunneliporauslaitteiden suunnittelussa, joten tunsin ennalta työni kohteet. Diplomityö avasi minulle kuitenkin uuden maailman laitteiden tuotekehityksessä. Työ oli laaja-alainen, ja se kattoi useita aihealueita, joihin en aiemmin ollut tutustunut.

Haluan kiittää työni ohjaajaa suunnittelupäällikkö Sami Järventaustaa sekä kaikkia ohjausryhmän jäseniä; suunnittelupäällikkö Juha Piipposta, suunnittelupäällikkö Pasi Vuojelaa, suunnittelupäällikkö Jari Lepistöä, suunnittelupäällikkö Timo Niemeä, tuotannonohjauspäällikkö Anne Kuosmasta, documentation manager Marko Ylistä ja tuotelinjapäällikkö Ulla Korsmania, jotka kukin toivat oman sektorinsa näkemyksen ja asiantuntemuksensa työhöni. Kiitokset tuoteinsinööri Anssi Kouhialle ja Pertti Lyytikäiselle sekä projekti-insinööri Tero Yli-Hannukselalle, jotka antoivat laajan laitetietämyksenä työni pohjaksi. Kiitos tuotannonkehityspäällikkö Juho-Pekka Pöyrylle ja insinöörityöntekijä Petri Niemistölle ideoiden haastamisesta ja uusista näkökulmista. Suuri kiitos kuuluu - yhdessä ja erikseen - niille kymmenille insinööreille, suunnittelijoille ja rakennekäsittelijöille, jotka tarjosivat asiantuntemuksensa työhöni ja jaksoivat omien kiireidensä ohella vastata kysymyksiini. Kiitos myös työni tarkastajalle professori Erno Keskiselle.

Lopuksi haluan erityisesti kiittää perhettäni tuesta ja kannustuksesta opintojeni aikana. Ilman teitä en olisi tänne asti päässyt.

Tampereella 19.5.2011

Teemu Majander

SISÄLLYS

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Assembly Constrain	Kappaleiden toisiinsa liittämistapa 3D-mallinnuksessa, joka käyttää hyväksi kappaleiden geometriasta synnytettyjä referenssejä, vrt. *Mate*
BOM	Bill Of Materials, tuotteen sisältämien osien luettelo.
BoM Occurence Mapper	PDM-järjestelmä Teamcenterin lisäsovellus tuoterakenteen näkymien alustamiseen ja luomiseen.
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu. Lisämääreet 2D tai 3D: 2- tai 3-ulotteinen.
DD	Drilling Drifting, kaivosjumbon tyyppilyhenne.
DL	Drilling Longhole, tuotantoporauslaitteen tyyppilyhenne.
EBOM	Engineering Bill Of Materials, suunnittelun osarakenne.
ERP	Enterprise Resource Planning System, toiminnanohjausjärjestelmä.
Geneerinen rakenne	Koko tuoteperheen yhteinen osaluettelo, joka sisältää kaikki vaihtoehdot alakokoonpanoille. Engl. Generic Bill Of Materials, lyh. GBOM.
JT	Tiedostoformaatti, jolla voidaan esittää 3D CAD-malleja kevyemmässä muodossa.
PDM	Product Data Management, tuotetiedon hallinta
Konfiguraattori	Työkalu, jolla konfigurointi suoritetaan.
Konfigurointi	Systemaattinen järjestelmä tuotteiden muunteluun, joka sisältää kaikki tiedot tuoteyksilöiden tuoterakenteiden kokoamiseen.
Master-rakenne	kts. geneerinen rakenne
Mate	Kappaleiden toisiinsa liittämistapa 3D-mallinnuksessa, joka käyttää hyväksi suoraan kappaleiden geometriaa, vrt. *Assembly Constrain*
MBOM	Manufacturing Bill Of Materials, tuotannon osaluettelo.
Moduuli	Tuotteen osakokonaisuus, jolle on määritelty rajapinta, ja se kuuluu muiden osakokonaisuuksien muodostamaan kokonaisuuteen eli moduulijärjestelmään.
Multi-Structure Manager	PDM-järjestelmä Teamcenterin sovellus, jolla hallitaan tuoterakenteen erilaisia näkymiä.
Product Definition Container	Master-mallin nimitys BoM Occurence Mapperissa, lyh. PDC
Rajapinta	Moduuleille ennalta määritelty liityntätapa toisiinsa.
SLU	Shank Lubrication Unit, niskanvoiteluyksikkö
Structure Context	Tuoterakennepohjan nimitys BoM Occurence Mapperissa, PDC:n alainen rakenne.

Structure Manager	PDM-järjestelmä Teamcenterin sovellus osaluetteloiden muodostamiseen ja hallintaan.
THC	Tamrock Hydraulic Control, hydraulisesti toteutettu laitteiden poraus- ja huuhtelutoimintojen ohjauskeskus.
TPC	Tamrock Power Control, sähköisesti toteutettu laitteiden poraus- ja huuhtelutoimintojen ohjauskeskus.
Tuotearkkitehtuuri	Kuvaus tuotteesta, missä yhdistyy sekä toiminnallisten että rakenteellisten ominaisuuksien kuvaus.
Tuoterakenne	Kuvaus tuotteesta komponenttien, kokoonpanojärjestyksen tai toimintojen yhteenliittymisen kannalta.
Variant Item	PDM-järjestelmä Teamcenterin tuoterakennesovellusten geneerisistä malleista luoma tiedostomuoto.
Variantti	Muunneltavan tuotteen tai tuoteperheen tuoteyksilö.
Varioituvuus	Tuotteen erilaisista ominaisuusyhdistelmistä johtuva muuntuminen.

1 JOHDANTO

1.1 TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

Tämän työn tavoitteina oli muodostaa Sandvik Mining and Construction Oy:n Tampereen tehtaalla tehtävien maanalaisten kaivosporalaitteiden laitteiden nykyisille tuoterakenteille vaihtoehtoja tulevaisuuden laitekantaa varten. Samalla tutkittiin mahdollisuuksia laitteiden suunnittelun ja tuoterakenteen yhdistämiseen sekä uusia toimintatapoja tuoterakenteen hallintaan. Yhtiössä on havaittu tuoterakenteessa olevan kehityspotentiaalia. Kehityssuuntina tulevaisuuden laitekannalle katsotaan olevan muun muassa yhtäläisyyksien hyväksikäyttö laiteperheiden yli niin komponentti- kuin moduulitasolla, laitteiden modulaarisuuden ja konfiguroinnin tehostaminen sekä asiakaskohtaisen räätälöinnin kehittäminen. Uusien laitteiden suunnittelu on vasta alkuvaiheessa, joten nyt katsottiin olevan mahdollisuus tuoterakenteen uudelleen miettimiselle. Työn kanssa rinnan kulkivat tulevaisuuden laitekannan suunnitteluprojekti ja tuotetiedonhallintaohjelmiston uusimisprojekti, joiden kanssa myös käytiin aktiivista keskustelua.

1.2 TYÖN KULKU JA RAJOITUKSET

Luku 2 käsittää diplomityön teoriaosuuden, jossa käsitellään tuoterakenteen, modulaarisuuden, asiakaskohtaisen muuntelun, varioituvuuden sekä tuoterakenteen hallinnan teorioita. Luku 3 on työn soveltavaa osuutta. Siinä esitellään ensin tutkittavien laitteiden nykyistä tuoterakennetta ja niiden hallintaa, jonka jälkeen analysoidaan sen vahvuuksia ja heikkouksia. Seuraavaksi esitellään työssä tarkasteltavat tuoterakennevaihtoehdot ja niiden systematiikka. Vaihtoehdoista valitaan arvoanalyysin perusteella yksi rakenne tarkempaan tarkasteluun, jossa määritellään valituille moduuleille rajapinnat ja niiden tiedot sekä tutkitaan rakenteen kuvaamista suunnitteluympäristössä. Lopuksi tarkastellaan yhtiön Tampereen tehtaalla käyttöön otettavan uuden tuotetiedonhallintaohjelmiston ominaisuuksia ja niiden mahdollista hyväksikäyttöä tuotetiedon hallinnassa tulevaisuudessa. Luvussa 4 esitellään tuoterakennetta, sen hallintaa ja muita menettelytapoja koskevia kehitysideoita, joita työn edetessä on tullut ilmi.

Tässä työssä tehtäviin tarkasteluihin on tehty seuraavia rajoituksia:

- Työ rajoitettiin koskemaan yhtiön maanalaisia poralaitteista kaivoskokoluokan jumbo DD421:a sekä tuotantoporauslaite DL420:a. Nämä ovat myös ne laitteet, joiden ominaisuuksia käytetään tuoterakennevaihtoehtojen kuvaamisen perustana.
- Määritellyt tuoterakenteet eivät ole rajoitettu nykyisten laitteiden teknisten ratkaisuiden mukaan vaan nykyiset laitteet toimivat esimerkkinä tuoterakennevaihtoehdoille.

1.3 SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION OY

Oy Sandvik Ab on kansainvälinen monialayhtiö, joka on perustettu vuonna 1862. Se on nykyään Ruotsin suurimpia vientiyrityksiä: sillä on 44 000 työntekijää 130 maassa. Yhtiöllä on kolme liiketoiminta-aluetta: Sandvik Tooling, Sandvik Mining and Construction sekä Sandvik Materials Technology. Näistä Mining and Construction on sekä liikevaihdoltaan että työntekijämäärältään suurin.

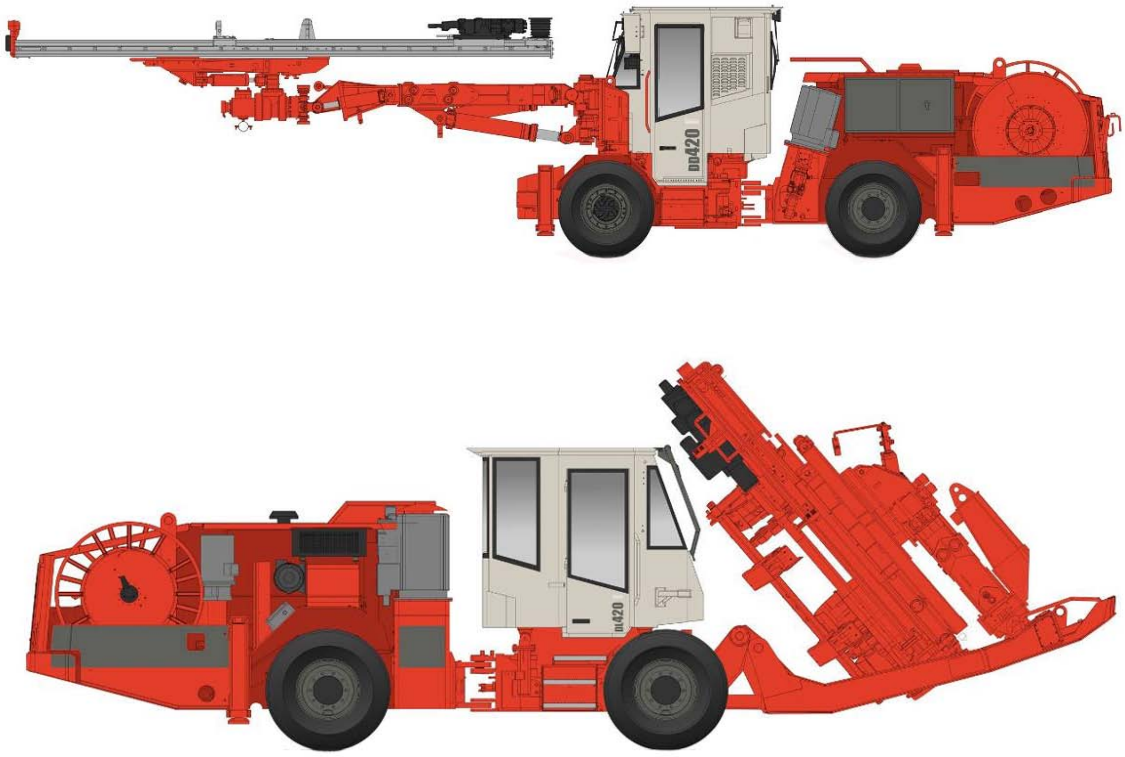
Kuva 1.1 *Sandvikin liiketoiminta-alueet. [Sandvik 2011]*

Sandvik Mining and Construction Oy (SMC) tuottaa teknisiä ratkaisuja ja palveluita maarakennus- ja kaivosteollisuusasiakkaille. Tuotetarjontaan kuuluvat kallionporaus-materiaalinkäsittely-, louhinta-, murskaus- ja lastauslaitteet ja sekä porakalusto- ja tienhoitotuotteet. Palvelutarjontaan kuuluu teknisten ratkaisuiden lisäksi huolto, koulutus sekä kulutus- ja varaosapalvelu. SMC:llä on Suomessa Tampereen lisäksi valmistusyksiköt Turussa, Lahdessa ja Hollolassa sekä myyntiyhtiön pääkonttori Vantaalla.

Kuva 1.2 *Sandvik Mining and Construction Oy:n tuotetarjontaa. [Sandvik 2011]*

SMC:n Tampereen tehtaalla on pitkä historia koneenrakennuksen alalla. Se ulottuu suomalaisen teollisen historian suurtekijään Oy Tampella Ab:hen, joka valmisti kallioporien varaosia Outokumpu Oy:lle toisen maailmansodan aikana. Yhtiön ensimmäinen oma kallioporamalli näki päivänvalon vuonna 1952. Tampella eriytti paineilmaporakoneosastonsa omaksi divisioonakseen vuonna 1969, ja näin syntyi Tampella Tamrock. Oma tehdasalue valmistui vuonna 1972 Tampereen Myllypuroon, jossa toiminta on jatkunut näihin päiviin asti. Ensimmäinen hydraulikäyttöinen porausjumbo - Sandvikin nykypäivän tuotteiden kantaisä - valmistui vuonna 1975. Emoyhtiö joutui talousvaikeuksiin 1990-luvun alussa, ja Sandvik osti Tampellalta Tamrockin osake-enemmistön vuonna 1997, jolloin uuden yhtiön nimeksi tuli Sandvik Tamrock Oy. Nykyinen nimi Sandvik Mining and Construction Oy otettiin käyttöön vuonna 2006. Nykyisin Tampereen tehtaalla valmistetaan sekä maanalaisia että maanpäällisiä porauslaitteita. Maanalaisista poralaitteista tehtaalla valmistetaan kaivos- ja tunnelijumboja, tuotantoporaus- sekä kalliopulttauslaitteita.

1.4 KAIVOSJUMBO JA TUOTANTOPORAUSLAITE



Kuva 1.3 *Kaivosjumbo DD420 (DD421:n edeltäjä) ja tuotantoporauslaite DL420. [Sandvik 2011]*

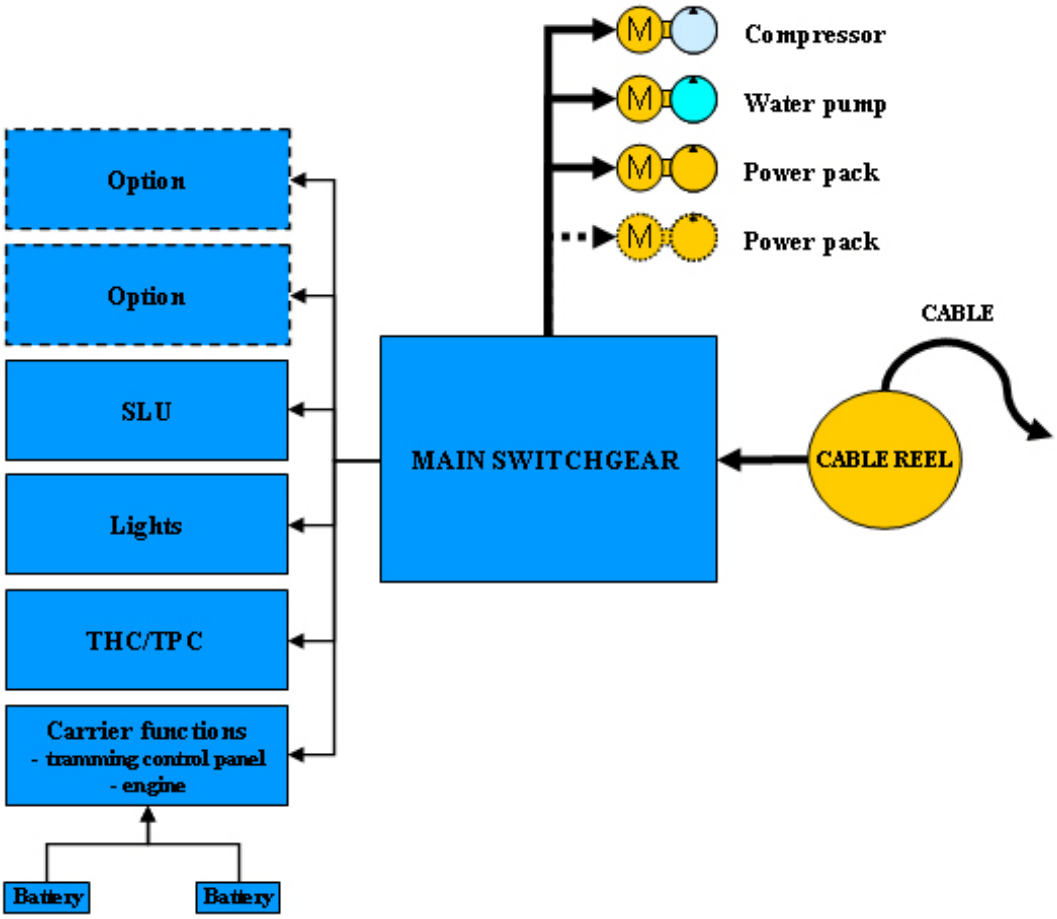
Kaivosjumbo on yksi- tai kaksipuominen, vaakasuunnassa poraava maanalainen porauslaite, jota käytetään poraamaan reikiä tunnelien räjäyttämiseen. Laitteen rungon pituus on 7,4 metriä, leveys runsas 2 metriä ja paino 22 600 kiloa. Reikien poraamista varten laitteessa on puomien määrästä riippuen yksi tai kaksi porakonetta, jotka liikkuvat puomeihin kiinnitettyjen syöttölaitteiden avulla. Laitteeseen on saatavilla erilaisia puomien, porakoneiden ja syöttölaitteiden kombinaatioita, joiden mukaan laitteen kokonaispituus on enimmillään 13 metriä sekä kahden puomin muodostama työskentelyala 60m^2. Poraustoimintojen ohjaus on toteutettavissa sekä sähköisesti että hydraulisesti.

Tuotantoporauslaite on yhdellä porausyksiköllä toimiva, ylöspäin poraava maanalainen laite, jota käytetään kaivoksissa tuotantoräjäytysreikien poraamiseen. Laitteen pituus on 10,25 metriä, leveys porausyksikön ollessa kuljetusasennossa 2,24 metriä ja paino 23000 kiloa. Laitteeseen on valittavissa joko kehikko- tai normaalityyppinen puomi. Reikien poraus suoritetaan käyttämällä useita lyhyempiä porauskankia peräjälkeen. Ensimmäisen kangen päässä on porakruunu. Poran edettyä yhden kangenmitan kallion sisään, porakone irrotetaan kangen perästä, peruutetaan syöttölaitteessa taka-asemaan ja kangenvaihtajan kasetti syöttää uuden kangen, joka kiinnittyy porakoneen niskaan ja

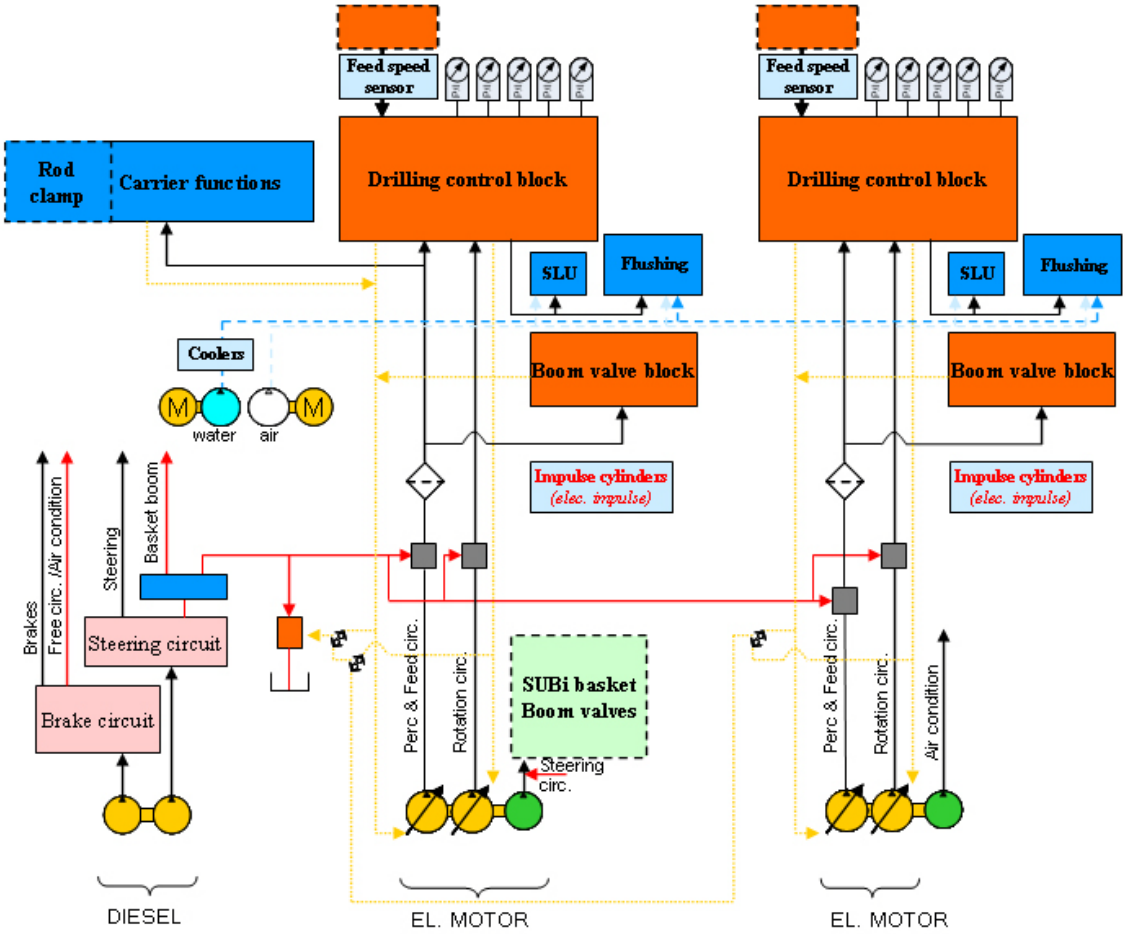
edellisen kangen perään. Tällä tekniikalla laitteella pystytään poraamaan 53-metrisiä reikiä. Poraustoimintojen ohjaus toteutetaan sähköisesti.

Molempien laitteiden poraustoiminnot - porakoneen toiminnot ja liikuttelu sekä puomien liikkeet – on toteutettu hydraulisesti. Laitteiden liikkumisen voimansiirto toteutetaan dieselmoottorilla ja kardaanivedolla, ja laitteet ovat nivelohjattuja. Laitteisiin on saatavilla joko umpinainen ohjaamo tai turvakatos. Laitteisiin on valittavissa lukuisa joukko erilaisia optioita, kuten sammutusjärjestelmä, manuaalinen rasvaus ja ilmastointi.

Laitteiden omat sähkö- ja hydraulijärjestelmät voidaan jakaa ajon- ja porauksenaikaisiin toimintoihin. Laitteiden sähköjärjestelmää esitellään kuvassa 1.4. Ajon aikana laite saa sähköä kahdesta akusta, jotka latautuvat dieselmoottorin käydessä. Porauksen aikana tarvittava sähkö tuodaan kaivoksen voimavirtaverkosta. Voimavirtakaapelin avulla sähkö johdetaan sähköpääkeskukseen, jossa se jaetaan voima- ja heikkovirtapiiriin. Voimavirralla käytetään porauksenaikaisen hydraulivoimayksikön (powerpack), kompressorin ja vesipumpun sähkömoottoreita. Heikkovirtaa käytetään esimerkiksi valoissa sekä sähköisten toimilaitteiden, kuten hydrauliventtiilien, ohjauskeloissa. Myytävistä optioista syntyvät lisäliitännät toteutetaan laiteyksilökohtaisesti.

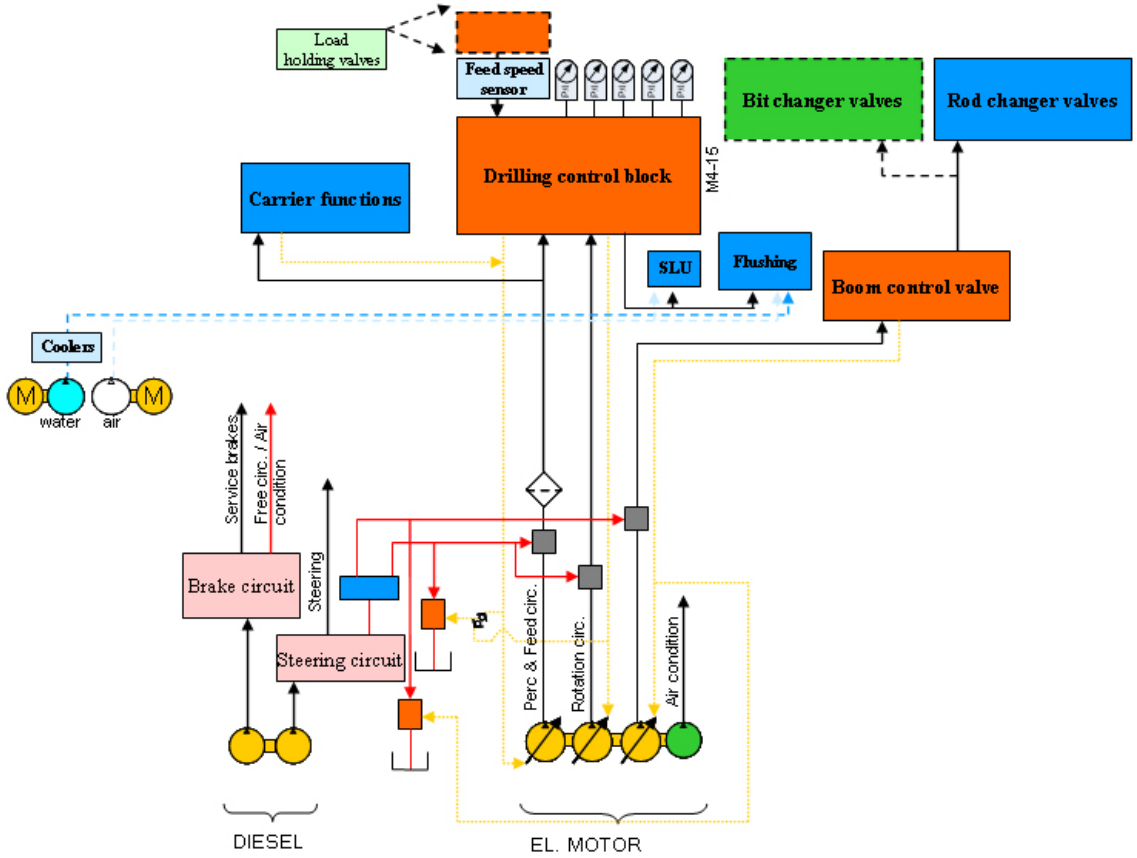


Kuva 1.4 *Laitteiden sähköjärjestelmän arkkitehtuuri. [Sandvik 2011]*



Kuva 1.5 *Kaivosjumbon hydrauli-, ilma- ja vesipiirien arkkitehtuuri. [Sandvik 2011]*

Ajon aikana hydraulijärjestelmään (kaivosjumbon kuvassa 1.5) tuotetaan tilavuusvirtaa dieselmoottorin käyttämillä kahdella hydraulipumpulla, joilla ohjataan jarrujen sekä rungon ohjaussylinterien toimintaa. Jarrujen piiristä otetaan tilavuusvirtaa ajon aikana myös ilmastoinnille. Porauksen aikana hydraulipiireihin tilavuusvirtaa tuottavat voimayksiköt, joita on laitteissa yksi kutakin porausyksikköä kohti. Kaivosjumbossa yksi pumppu tuottaa tilavuusvirtaa porakoneen isku- ja syöttötoiminnoille, toinen porakoneen pyöritykselle ja kolmas joko ilmastoinnille tai koripuomille. Kaksi ensin mainittua tuottavat virtausta myös porauksen ja huuhtelun (hydrauliselle) ohjausjärjestelmälle. Iskun ja syötön pumpulta otetaan tilavuusvirta myös puomien sylintereille ja alustan toiminnoille, kuten maatuille sekä vesiletku- ja kaapelikelan kelaushydrauliikalle. Myös alustassa olevilta pumpuilta ohjataan tilavuusvirta porauksen aikaisiin toimintoihin laitteen ollessa pysähdyksissä.



Kuva 1.6 *Tuotantoporauslaitteen hydrauli-, ilma- ja vesipiirien arkkitehtuuri. [Sandvik 2011]*

Tuotantoporauslaitteen hydraulijärjestelmä (kuva 1.6) noudattelee pitkälti kaivosjumbon arkkitehtuuria. Sen voimayksikkö sisältää kuitenkin neljännen pumpun, joka tuottaa tilavuusvirtaa puomille ja sen toiminnoille, kuten kangenkäsittelijälle.

Laitteet käyttävät paineilmaa ja vettä useisiin toimintoihin, kuten porareikien huuhteluun, porakoneen niskanvoiteluun ja voimantuottoyksiköiden jäähdytykseen. Käytetty paineilma tuotetaan joko laitteen omalla kompressorilla tai kompressorin ja kaivoksen oman ilmalinjan yhteistuotolla. Vedentuotto voidaan toteuttaa liittämällä laite joko sen mukana tulevan tai ulkopuolisen letkun avulla kaivoksen verkostoon. Laitteeseen on mahdollistaa asentaa myös erillinen vesisäiliö, jolloin laitetta pystyy käyttämään itsenäisesti.

Huuhtelu on tärkeä osa reiän poraamista. Sillä jäähdytetään porakruunua ja poistetaan porauksen yhteydessä syntyvää irtoainesta. Huuhtelun väliaine johdetaan reikään porakoneen perästä ja porakangen ja porakruunussa olevan reiän läpi. Molemmissa laitteissa on kolme menetelmää porausreiän huuhtelulle: normaali-, tupla- ja vesisumuhuuhtelu. Normaalihuuhtelussa reikää huuhdellaan porauksen aikana jatkuvasti vedellä. Tuplahuuhtelussa porauksen aikainen huuhtelu toteutetaan vedellä, jonka jälkeen reikä puhalletaan ilmalla puhtaaksi. Vesisumuhuuhtelussa reikää

huuhdellaan porauksen ajan vesisumulla, joka saadaan aikaan puhaltamalla reikään ilmaa, johon sekoitetaan pieni määrä vettä. Viime mainittu on haluttu varsinkin pölyävien kivilajien, kuten kalkkikiven, poraamisessa.

Porakoneen niskaa voidellaan erillisellä kiertovoitelulinjalla. Öljy pumpataan porakoneelle erillisellä pumpulla, ja ennen saapumista porakoneelle öljyyn sekoitetaan paineilmaa laitteen ilmalinjasta. Paineilma vie öljyn voideltaviin osiin ja kerää sen takaisin paluulinjaan.

Porauksen aikana käytettävien voimayksiköiden jäähdytys toteutetaan veden avulla. Laitteen vesilinja kulkee vesipumpun jälkeen yksiköiden lämmönvaihtimien läpi jäähdyttäen niitä. Niistä vesi johdetaan huuhtelupiirin jakajaventtiileille ja edelleen huuhteluventtiileille.

2 TEORIAOSUUS

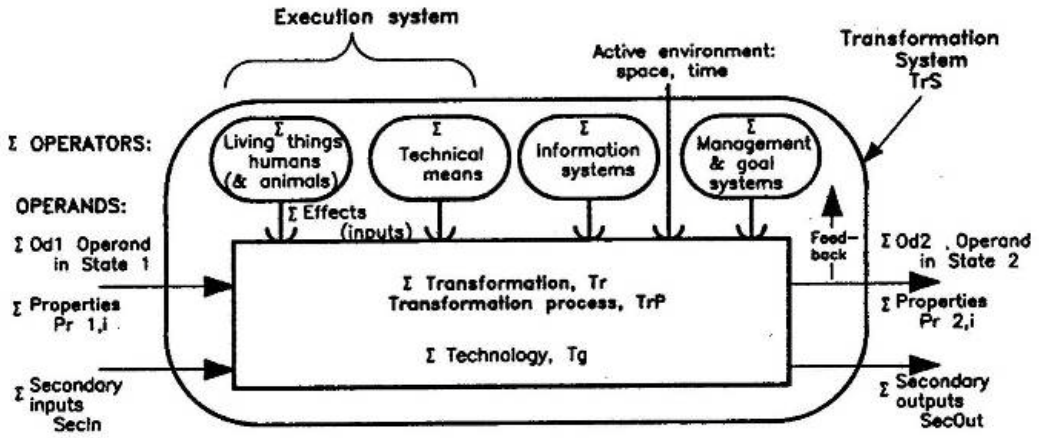
Tässä luvussa esitellään tuoterakenteen, tuotearkkitehtuurin, modulaarisuuden, asiakaskohtaisen muuntelun, varioituvuuden sekä tuotetiedon hallinnan teoriaa. Työn soveltava osuus pohjautuu tähän teoriaan.

2.1 Tuotteen kuvaamisen teoria

Arkikielessä pyrittäessä kuvailemaan tuotetta, joka koostuu erilaisista komponenteista ja niiden muodostamista osakokonaisuuksista, käytetään yleensä nimitystä tuoterakenne. Tällainen listaus, johon on kerätty tuotteen kaikki fyysiset komponentit, on kuitenkin vain yksi, suhteellisen kapeakatseinen tapa tuotteen kuvailemiseen.

2.1.1 Muutosprosessien kuvaus

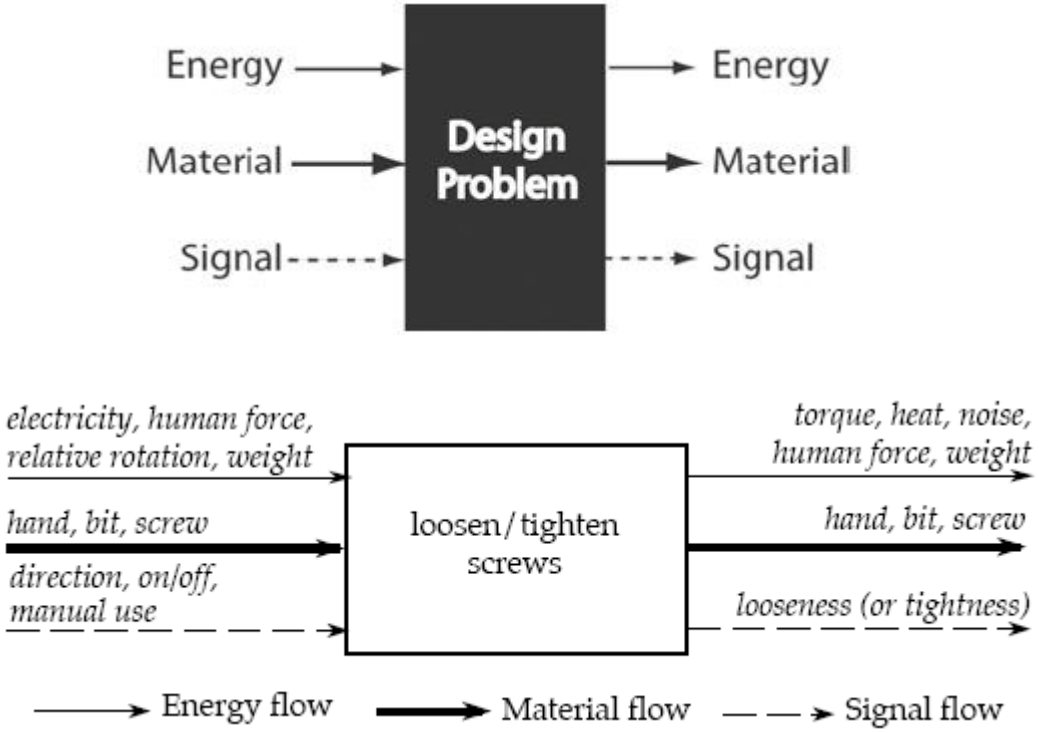
Eräs tuotteiden kuvaustapa on muutosprosessi, jossa tekninen järjestelmä määritellään siinä tapahtuvien muutosten avulla. Prosessilla on yksi tai useampi sisääntulosuure, joka muuttuu prosessin aikana lopuksi saatavaksi ulostulosuureksi. Tällaisia teorioita ovat muun muassa Hubkan Theory of Technical Systems sekä Pahl & Beitzin Black box.



Kuva 2.1 *Theory of Technical Systems. Oikealla järjestelmän sisääntulo- ja vasemmalla ulostulosuureet. [Hubka et al. 1988]*

Theory of Technical Systems esittää erilaisia teknisiä järjestelmiä muunnoksien eli transformaatioiden avulla. Järjestelmällä koostuu teknisestä prosessista, operandeista sekä operaattoreista. Operandeina toimivat prosessin alku- ja lopputilanne: alussa on olemassa tarve, jonka prosessin pitäisi tyydyttää lopputilanteeksi. Operaattorit

muodostavat alijärjestelmiä, jotka kuvaavat prosessiin vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat ihmisen toiminta (living things), tekniset toteutukset (technical means), prosessiin tuleva informaatio (information systems), prosessin ulkopuolinen ympäristö (active environment) sekä prosessin hoito sekä tavoitteet (management & goal systems). Operaattorien yhteistoiminta luo joukon operaatioita, jotka täytyy toteuttaa järjestyksessä halutun lopputilanteen aikaansaamiseksi. Näin syntyy kausaalinen transformaatioiden eli muutosten ketju, joka johtaa operandien muuttumiseen alun tarpeesta lopun tyydytettyyn tilaan. [Hubka et al. 1988]



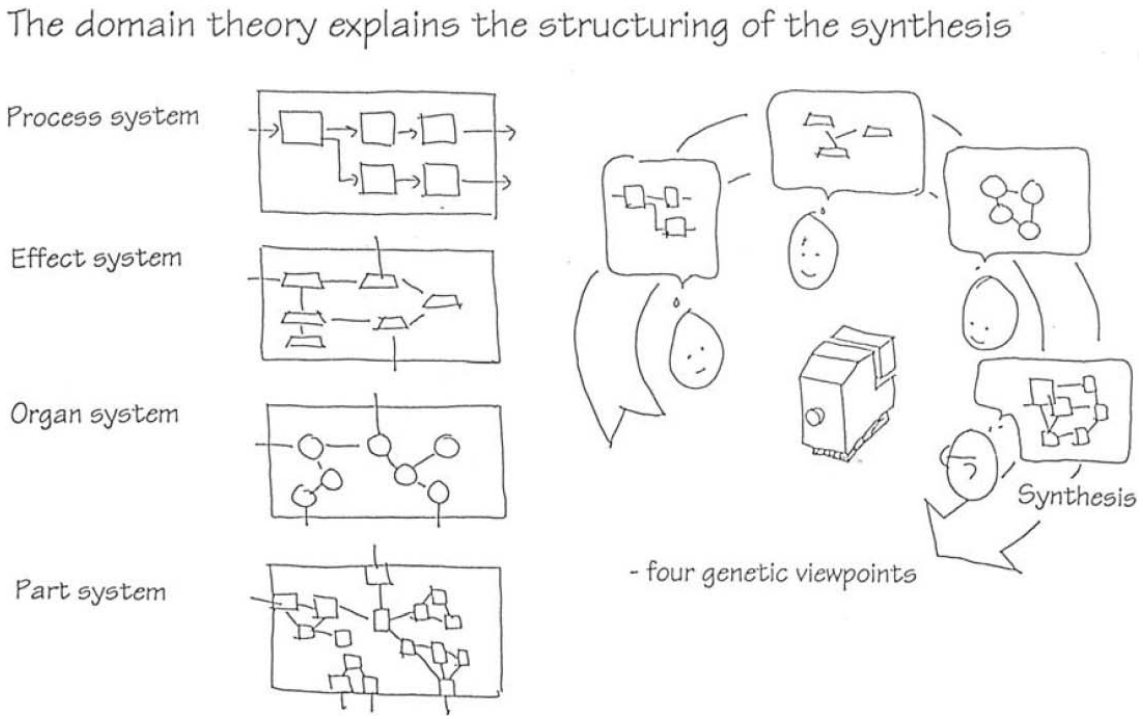
Kuva 2.2 *Black box- teorian yleinen malli ja sovellettuna ruuvien avaamiseen sekä kiristämiseen. [Pahl & Beitz 1986/90], [Ogot 2004, s.3] ja [Stone 1997]*

Pahl & Beitzin kuvaus muutosprosessista keskittyy sisään- ja ulostulosuureisiin, joita kuvataan kolmen vuon, energian, materiaalin ja signaalin, muutoksen kautta. Itse systeemi esitetään pelkkänä mustana laatikkona. Merkittävimpänä erona Hubkan malliin onkin se, ettei se ota kantaa itse muutoksen aiheuttamaan prosessiin eli toimintoihin tai jaksoihin, joissa vuo muuttuu. Musta laatikko – ajattelu voidaan aloittaa yleisellä tasolla ja jakaa pienempiin osakokonaisuuksiin. [Pahl & Beitz 1986/90]

2.1.2 Theory of Domains

Andreasenin luoma Theory of Domains jatkaa Hubka et al. sekä Pahl & Beitzin ajattelua tuoden ne lähemmäs käytäntöä. Andreasen jakaa tuotteen kuvaamisen neljään eri kategoriaan: prosessi-, toiminto-, orgaani- ja osakuvaukseen. Näitä kuvauksia kutsutaan domaineiksi, joista kukin kuvailee tuotetta eri kantilta. [Juuti 2008]

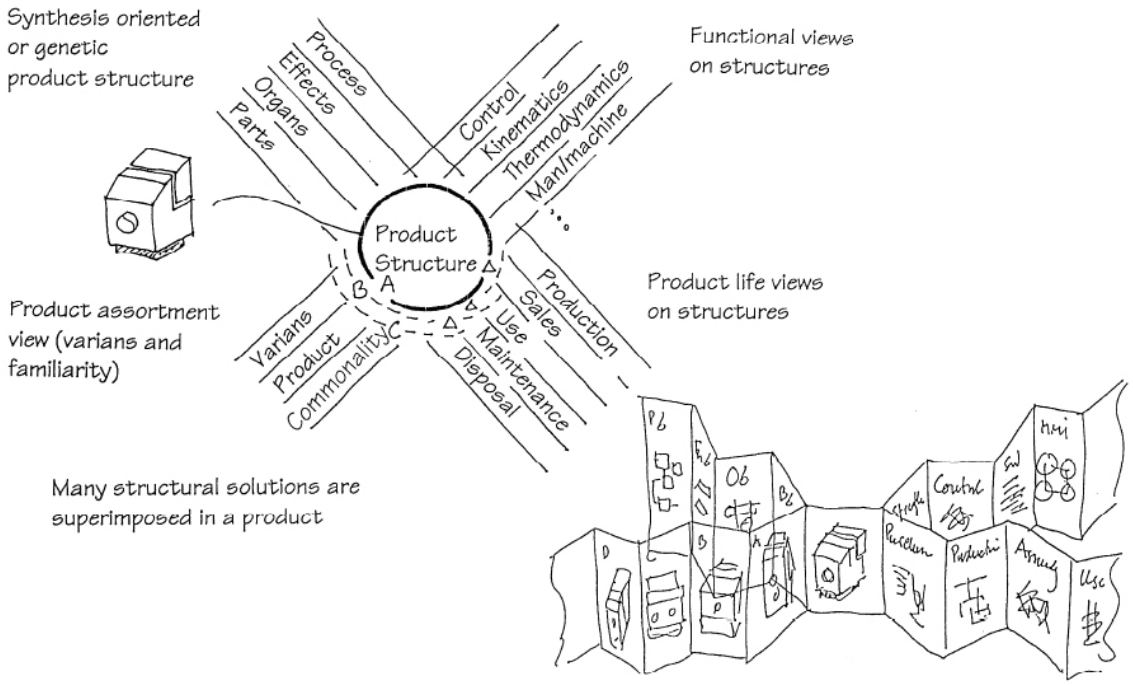
Prosessidomain kuvaa niitä prosesseja, jotka ilmenevät tuotetta käytettäessä. Toimintodomain kuvaa, mitkä toiminnot tarvitaan tiettyjen prosessien aikaansaamiseksi. Orgaanidomain määrittelee osakokonaisuudet, jotka toteuttavat tuotteen käytössä tarvittavat toiminnot. Osadomain määrittelee ne osat, joista orgaanit koostuvat.



Kuva 2.3 *Theory of Domains. [Andreasen et al. 1997]*

Domain-teoriassa esitettyjen kuvausten tasot muodostavat tuotteesta eri abstraktiotasoja. Domainit muodostavat yhdessä synteesin, jossa kuvaukset kehittyvät prosessidomainista aina osadomainiin. Suunnittelun näkökulmasta tämä voidaan nähdä suunnitelmien muuttumisena prosessidomainin varsin abstraktilta tasolta osadomainin konkreettiseen kuvaukseen. Tuotteen kuvauksen muodostamista näistä näkökulmista kutsutaan tuoterakenteistamiseksi, ja tämän prosessin tulos on tuoterakenne. [Juuti 2008]

2.1.3 Tuoterakenne ja tuotearkkitehtuuri

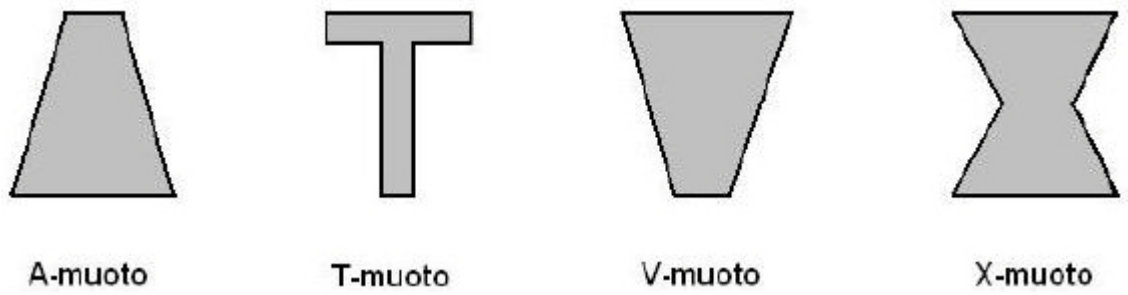


Kuva 2.4 *Erilaisten näkökulmien muodostaminen tuoterakenteesta. [Andreasen et al. 1997]*

Andreasen et al. määrittelevät tuoterakenteen seuraavasti: ”Tuotteen rakenne kuvaa sen elementtien relaatioita toisiinsa valitun näkökulman mukaisesti.” [Andreasen et al. 1996] Domain-teorian perusteella luoduista tuoterakenteista voidaan osoittaa neljä erilaista näkökulmaa: [Andreasen et al. 1996]

- **Geneerinen:** synteesin neljän domainia kuvaavat rakennetta
- **Toiminnallinen:** kuvaa tuotteen rakennetta toimintojen ja ominaisuuksien kautta
- **Elinkaaripohjainen:** kuvaa tuotteen rakennetta sen eri elinkaaren vaiheissa aina markkinoinnista kierrätykseen
- **Tuotteen varioituvuus:** kuvaa rakenteen sen varianttien (markkinoiden näkökulmasta) ja yhtäläisyyksien kautta

Tuotteen luonne heijastuu myös tuoterakenteen muotoon. Määritteleviä tekijöitä ovat tuotteessa käytettävät erilaiset komponentit ja niiden käytön standardointi sekä ostettavien ja itse tehtyjen tai teetettyjen komponenttien määrä. Näiden perusteella tuoterakenne kapenee ja levenee: erilaisten komponenttien ja itse valmistettavien komponenttien määrä leventävät rakennetta, kun taas standardointi sekä ostettavien komponenttien määrä kaventavat tuoterakennetta. Näiden tekijöiden perusteella voidaan erottaa neljä päätyyppiä tuoterakenteen muodoille, joista jokainen kertoo myös tuotteen luonteesta.



Kuva 2.5 *Tuoterakenteen muotoja. [Slack et al. 2007]*

Tuoterakenteen A-muoto edustaa tuotteita, joissa suuresta määrästä komponentteja rakennetaan suhteellisen pieni määrä erilaisia tuotevariantteja. Tällaisia tuotteita tekevällä yrityksellä on tyypillisesti melko kapea lopputuotevalikoima. T-muoto kertoo tuotteesta, jonka rakentamiseen käytetyllä pienellä määrällä raaka-aineita voidaan tehdä useita erilaisia tuotevariantteja. Tämä pätee esimerkiksi asiakkaan toiveiden mukaan tuotteita räätälöiviä yrityksiä, joissa tuotteet tehdään tilausperusteisesti. V-muoto muistuttaa suuren tuotevarianttien määrän perusteella T-muotoa. Tosin merkitsevänä erona on raaka-aineen saatavuuden suurempi vaikutus: V-muodon tuoterakenteessa yhden raaka-aineen heikko saatavuus johtaa ongelmiin kaikissa varianteissa, kun taas T-muodossa vaikutukset saattavat rajautua yhteen ja pieneen osaan varianteista. X-muotoisessa rakenteessa on suuri määrä komponentteja, joista koostuu pieni määrä standardoituja moduuleja. Näitä moduuleista muodostuu rakenteelle ominainen kapea ”vyötärö”, ja moduuleita yhdistelemällä saadaan suuri määrä tuotevariantteja. Muoto on ominainen varsinkin modulaarisille tuotteille. [Slack et al. 2007]

Puhuttaessa tuoterakenteesta käytetään usein myös termiä tuotearkkitehtuuri. Näitä kahta käytetäänkin toistensa synonyymeinä vaikka tuotearkkitehtuuri voidaan mieltää käsitteenä tuoterakennetta laajempana. Tuotearkkitehtuuri esittää tuotteen toiminnallisten kokonaisuuksien jäsentymisen fyysisiksi rakenteiksi ja näiden keskinäiset vaikutussuhteet. Se siis sitoo laitteen toiminnot fyysisiin osakokonaisuuksiin. Tuotearkkitehtuuri voidaan kuitenkin käsitteenä laajentaa koskemaan myös tuoteperheitä ja -ryhmiä, joille määritellään ryhmäkohtaisia rajaehtoja tuoterakenteen lisäksi muun muassa tuotteiden layoutille. Tällöin tuotearkkitehtuuria voidaan pitää myös yksittäisen tuotteen rakennetta määrittelevänä tekijänä. [Huhtala & Pulkkinen 2001]

Yhdysvaltalaiset tutkijat Karl Ulrich ja Daniel Whitney käyttävät tutkimuksissaan tuotteen rakenteesta termiä tuotearkkitehtuuri. He esittävät sen yhtenä ominaisuutena tuotteen toimintojen ja niitä suorittavien osien eli moduulien suhdetta. Taulukon 2.1 mukaisesti näitä toimintojen ja moduulien riippuvuuksia voivat olla yksi-yhteen, yksi-moneen, monta-yhteen ja monta-moneen.

Taulukko 2.1 Toimintojen ja niitä toteuttavien osien suhde. [mukaillen Whitney 2004]

	Osien lukumäärä = 1	**Osien lukumäärä = n**
Toimintojen lukumäärä = 1	Modulaarinen arkkitehtuuri	Ketjutettu arkkitehtuuri
Toimintojen lukumäärä = n	Integraalinen arkkitehtuuri	Ketjutettu integraalinen arkkitehtuuri

Yhden toiminnon toteutuessa yhdellä osalla puhutaan modulaarisesta tuotearkkitehtuurista, kun taas monen toiminnon toteutuessa yhdellä osalla puhutaan integraalisesta arkkitehtuurista. Myös riippuvuussuhteet yksi-moneen ja monta-moneen luetaan yleensä kuuluvaksi integraaliseen arkkitehtuuriin. Whitney esittelee MacDuffien ajatuksia modulaarisen ja integraalisen tuotearkkitehtuurin ominaisuuksien eroista (taulukko 2.2). Termillä ”osa” viitataan alkuperäisen lähteen ”chunk”-termiin, joka voidaan käsittää tuotteen itsenäiseksi määriteltynä osakokonaisuutena.

Taulukko 2.2 Modulaarisen ja integraalisen tuotearkkitehtuurin erot. [mukaillen suomennettu Whitney 2004]

	MODULAARINEN	INTEGRAALINEN
Osien keskinäinen vuorovaikutus	osat voivat olla integraalisia sisältä mutta ovat toiminnallisesti ja fyysisesti itsenäisiä	osat voivat olla integraalisia sisältä ja toisistaan riippuvaisia
Osien erikoistuminen ja toimintojen eristäminen	osat erikoistuvat omaan osatoimintoonsa ja samaa toimintoa suorittavat ovat keskenään vaihtokelpoisia	osat räätälöidään omaan osatoimintoonsa, ja niitä ei voi vaihtaa muuttamatta muita osia
Erilaisten osien yhteensopivuus	odottamattomat osien yhdistelmät vaativat uudelleensuunnittelua ongelmien poistamiseksi	kokonaissuunnittelu voidaan optimoida ennalta määritellylle joukolle toimintoja ja yhdistelmiä
Osien rajapinnat	standardoidut, esisuunnitellut rajapinnat, jotka pysyvät muuttumattomina osien sisäisistä muutoksista huolimatta	osille räätälöidyt rajapinnat, jotka riippuvat lohkojen toiminnallisista ominaisuuksista
Rajapintojen vahvuus	rajapinnat ovat fyysisesti erotettuja itse osasta ja vaativat erillisiä suunnitteluresursseja: rajapinnat ovat ”heikkoja”	rajapinnat ovat kiinteästi osan mukana: rajapinnat ovat ”vahvoja”.
Rajapintasuunnittelu	huolellinen rajapintasuunnittelu tuo joustavuutta tuotannossa	rajapintasuunnittelu toteutetaan tuotekehityksessä, ja se ei tähtää suunnittelun jälkeiseen joustavuuteen
Sopivuus eri toimitusketjun toimijoille	suosii myyntiä ja markkinointia	suosii teknistä suorituskykyä

Lyhyesti voidaan todeta, että muunneltaville tuotteille sopii parhaiten modulaarinen tuotearkkitehtuuri. Sen ominaisuuksissa yhdistyvät muuntelun kannalta tärkeät seikat kuten rajapintojen standardointi ja osien keskinäinen vaihtokelpoisuus. Vaikka moduulien sisäinen rakenne olisikin osittain tai kokonaan integraalinen, ei se sinällään estä tuotteen modulaarisuutta. Ratkaisevimpina tekijöinä tällaisissa tapauksissa ovat juuri edellä mainitut seikat.

2.2 Modulaarisuus

Modulaarisuutta on kuvattu kirjallisuudessa usein eri tavoin. Eroavaisuuksia löytyy lähinnä vain terminologiasta, mutta määritelmät riippuvat myös tarkastelun näkökulmista

2.2.1 Modulaarisuuden määritelmiä

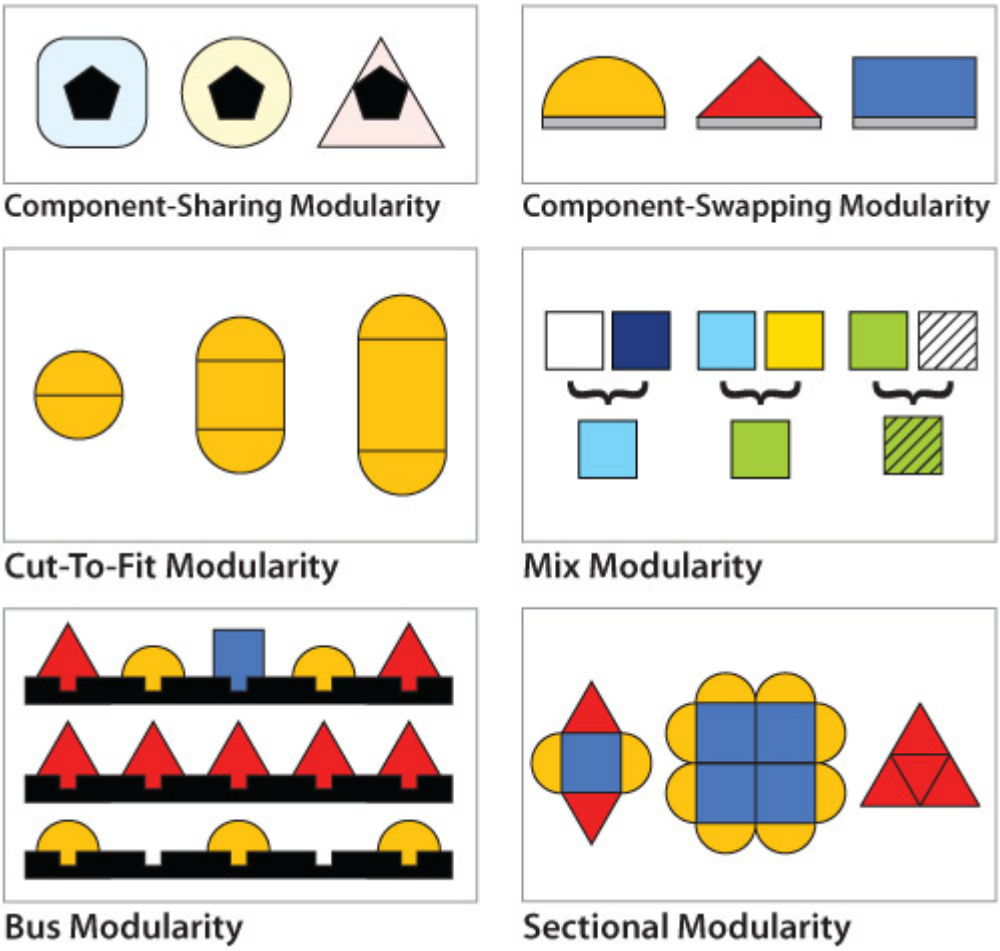
Pahl & Beitz määrittelevät modulaarisuuden kahteen perustyyppiin: valmistus- ja toimintomoduuleihin. Valmistusmoduulit ovat puhtaasti valmistusteknisistä näkökulmista määriteltyjä kokonaisuuksia. Toimintomoduulit ovat taas määritelty toimintojen toteuttamisen näkökulmasta siten, että ne toteuttavat näitä joko yksin tai yhdessä toisten moduulien kanssa [Pahl & Beitz 1986/90].

Ulrich & Tung puolestaan katsovat modulaarisuuden olevan tuotteen suhteellinen ominaisuus: toiset tuotteen ovat modulaarisempia kuin toiset (vrt. luku 2.1.3 loppukappale). Modulaarisuudeksi määritellään itsenäisten ja keskenään vaihtokelpoisten osien käyttö (vrt. luku 2.1.3). Modulaarisuutta kuvaavia ominaisuuksia ovat fyysisen ja toiminnallisen tuoterakenteen samanlaisuus sekä fyysisten komponenttien suunnittelemattomien vuorovaikutusten minimointi.

Ulrich & Tung jakavat modulaarisuuden kolmeen päätyyppiin: paikka-, väylä- ja lohkomodulaarisuus (kuva 2.6). Paikkamodulaarisessa järjestelmässä jokainen moduulityyppi voidaan kiinnittää standardoitujen rajapintojen kautta tiettyyn asentoon. Väylämodulaarisessa (bus modularity) järjestelmässä moduulit voidaan asentaa perusmoduuliin useissa eri asennoissa. Lohkomodulaarisessa (sectional modularity) järjestelmässä jokainen moduuli voidaan kytkeä melko vapaasti jokaiseen moduuliin eri asennoista. Liitosmahdollisuuksien kautta syntyneiden vapausasteiden mukaan paikka- ja väylämodulaarisuutta nimitetään myös suljetuksi ja lohkojärjestelmää avoimeksi järjestelmäksi.

Paikkamodulaarisuus voidaan jakaa vielä neljään osaan:

- **Komponenttien jako -modulaarisuus (component-sharing):** samaa komponenttia voidaan käyttää useassa perusosassa.
- **Komponenttien vaihto -modulaarisuus (component-swapping):** yhtä tai useampaa komponenttia voidaan yhdistää samaan perusosaan.
- **Parametrinen modulaarisuus (cut-to-fit):** yhtä tai useampaa vakiokomponenttia käytetään parametrisesti muunneltavan komponentin kanssa.
- **Yhdistelmämodulaarisuus (mix):** yhdistelmä kolmesta edellisestä.



Kuva 2.6 *Modulaaristen tuotearkkitehtuurien muotoja. [Ulrich & Tung 1991]*

Lehtonen esittelee kuvassa 2.7 edellä mainituista kaksi erikoistapausta: pinomodulaarisuus (stack modularity) ja valintamodulaarisuus (on-off modularity). Edellinen on parametrisen modulaarisuuden erikoistapaus ja jälkimmäinen on erikoistapaus komponentin vaihto-modulaarisuudesta. Pinomodulaarisuudessa parametrisuus toteutetaan lisäämällä tai vähentämällä moduulien lukumäärää. Valintamodulaarisuudessa ko. moduuli joko valitaan tai jätetään valitsematta. [Lehtonen 2007]

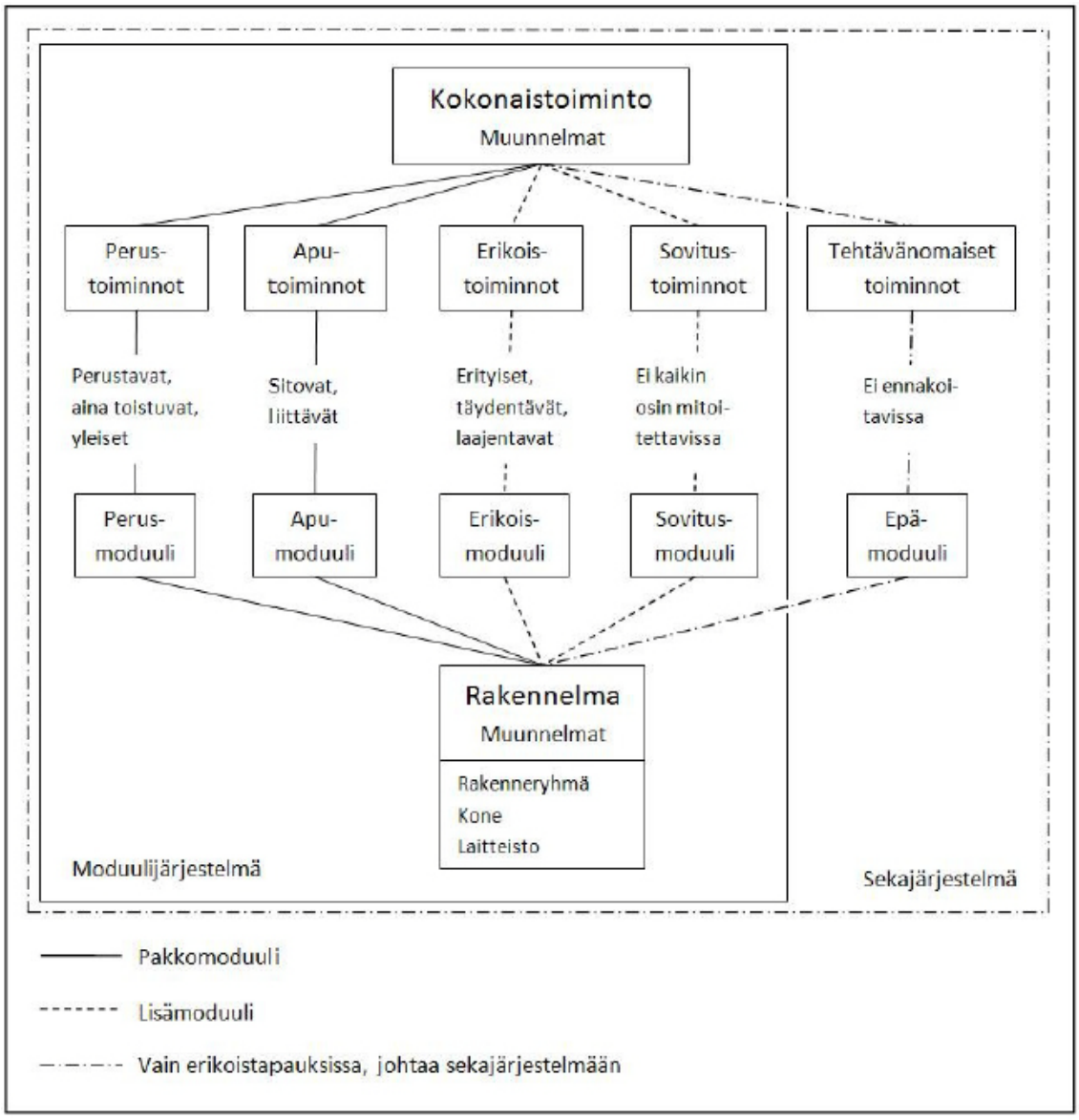
Kuva 2.7 *Modulaarisuuden ehdotetut lisätyypit. [Lehtonen 2007, s.49]*

2.2.2 Moduulin määritelmä ja tyypit

Lehtonen et al. määrittelevät moduulin seuraavasti: kokoonpanon osa tai alikokoonpano voidaan luokitella moduuliksi, jos

- sillä on määritelty rajapinta, joka määrittelee sen liittymisen muihin moduuleihin
- se on osa alikokoonpanojen tai osien ryhmää, jotka muodostavat moduulijärjestelmän.

Järjestelmää voidaan pitää moduulijärjestelmänä, mikäli siinä esiintyy edes yhtä edellä mainituista modulaarisuuden tyypeistä. [Lehtonen et al. 2003] Moduulijärjestelmä mahdollistaa moduulien keskinäisen vaihtokelpoisuuden, eli yksi moduuli voidaan vaihtaa toiseen, eri ominaisuuksilla varustettuun moduuliin. [Juuti 2008]



Kuva 2.8 *Toimintojen sekä moduulien lajit moduuli- ja sekajärjestelmissä. [Pahl & Beitz1986/90, s.438]*

Pahl & Beitzin määrittelemässä moduulijärjestelmässä (kuva 2.8) moduuleita on neljän tyyppisiä: perus-, apu-, erikois- sekä sovitusmoduulit. Järjestelmässä on myös erikseen määritelty epämoduulit. Moduulit luokitellaan edelleen pakko- ja lisämoduuleihin riippuen siitä, onko niiden olemassaolo tuotteessa sen toiminnan kannalta pakollista.

Perustoimintoja voidaan luonnehtia tuotteen perustavaa laatua oleviksi ja yleisiksi ominaisuuksiksi, joiden läsnäolo tuotteessa on sen oikein toimimisen kannalta pakollisia. Ne toteutetaan perusmoduuleilla. Aputoiminnot ovat liittävinä osina järjestelmissä; ne yhdistävät toisiinsa eri toimintoja ja tuottavat päätoiminnoille aputoimintoja. Niitä tuottavat apumoduulit ovat niin ikään luonteeltaan pakollisia, vaikka ne eivät suoranaisesti vastaisikaan tuotteen toiminnoista. Erikoistoiminnot tuottavat lisäarvoa tuotteelle täydentäen tai laajentaen sen toimintaa. Niitä tuottavia

erikoismoduuleja tuote ei kuitenkaan vaadi toimiakseen oikein, joten ne luokitellaan lisämoduuleiksi. Sovitustoiminnoilla liitetään tuote ulkopuolisiin järjestelmiin ja reunaehtoihin. Näitä toimintoja suoritetaan sovitusmoduuleilla, joiden lopullinen määritelmä muotoutuu vasta, kun yksittäisten liitosten vaatimukset ovat tiedossa. Riippuen tuotteen loppukäyttökohteesta ja -tarkoituksesta sen sovitusmoduulit voidaan lukea joko pakko- tai lisämoduuleihin. Tehtävänomaisilla toiminnoilla tarkoitetaan normaalista tuotetarjonnasta poikkeavia toimintoja, joita suunnitellaan esimerkiksi asiakaskyselyiden perusteella. Nämä yksittäiset konstruktiot luokitellaan epämoduuleiksi, ja niiden käyttö johtaa aina moduulien ja epämoduulien sekajärjestelmään. [Pahl & Beitz 1986/90]

Vallitsevia modulaarisuuden teorioita muodostettaessa moduulit on käsitetty jollain tavalla fyysisiksi kokonaisuuksiksi. Viime aikoina kuitenkin ei-fyysiset tuotteet, kuten ohjelmistot, ovat nousseet merkittävään osaan teollisuudessa. Ohjelmistosuunnittelu onkin hyötynyt suuresti modulaarisesta ajattelutavasta esimerkiksi käsiteltäessä monimutkaisia järjestelmiä ja jaettaessa suunnittelutehtäviä. Perinteisestä ajattelusta poiketen ohjelmistot eivät ole fyysisiä kokonaisuuksia, eikä niiden rajapintoja voida määritellä samoin perustein kuin fyysisten kappaleiden. Tämä siirtää modulaarisuuden määritelmää pois fyysisestä ajattelutavasta enemmän kohti toiminnallisesti itsenäisiä yksikköjä. [Miller & Elgård 1998]

2.2.3 Rajapinnat

Erilaisista moduuleista koostuvat tuotteet ovat yhteydessä toisiinsa rajapintojen kautta. Niiden tarkka määrittely ja vakiointi ovat tärkeä osa modulointia. Tuotteiden modulointi lisää niiden joustavuutta mutta se ei yksin riitä, mikäli moduulien välisiä rajapintoja ei ole huolellisesti suunniteltu. [Thomke 1997]

Jotta moduloinnilla pyrittävään moduulien vaihdettavuuteen ja yhdistettävyyteen päästään, ovat näiden rajapinnat suunniteltava standardeiksi ja eristäviksi. Moduulien välisten liitosten vakioiminen helpottaa muutosten hallintaa itse moduulien suunnittelussa, sillä rajapintamäärittelyiden avulla toteutetut muutokset yhdessä moduulissa eivät aiheuta yhteensopivuusongelmia muiden moduulien kanssa. Eristämisellä tarkoitetaan liityntöjen minimoimista rajapintojen avulla. Kääntäen tämä merkitsee sitä, että moduulit suunnitellaan liittyvän toisiinsa ainoastaan ennalta määriteltyjen rajapintojen kautta. Tällä varmistetaan, että yhteen moduuliin tehdyt muutokset aiheuttavat mahdollisimman vähän muutoksia toisiin moduuleihin. Modulaaristen tuotteiden suunnittelulle on myös ominaista rajapintojen suunnittelun erottaminen itse moduulien suunnittelusta. [MacDuffie 2004]

Moduulien rajapintojen määrittely sisältää tiedon moduulien liittymisestä toisiinsa sekä niiden välisistä vuorovaikutuksista. Koska moduuleita on erilaisia, ovat niiden

rajapinnatkin erilaisia, ja ne voidaan luokitella monin eri tavoin. Taulukossa 2.3 on esitetty rajapintojen luokittelu Tanner & Wienkerin mukaan.

Taulukko 2.3 Rajapintojen luokittelu, niiden määritelmät ja esimerkit. [mukaillen Tanner & Wienker 2008, s.12]

RAJAPINTATYYPPI	MÄÄRITELMÄ	ESIMERKKI
FYYSINEN	moduulien välinen fyysinen liityntätapa	liitin
GEOMETRINEN	moduulin sijoittamiselle käytössä oleva tila	määritelty pinta-ala tai tilavuus
LOOGINEN	moduulien välinen ideologinen liitos	signaalit

Moduulien vuorovaikutuksia voidaan kuvata virtauksilla, jotka liikkuvat moduulien välillä. Pahl & Beitz jakavat nämä black box-mallissaan materiaali-, energia- ja informaatiovirtoihin. Materiaalivirralla tarkoitetaan moduulien välillä kulkevaa materiaalia, kuten hydraulijärjestelmien öljyä. Energiavirta voi olla toisen moduulin tuottamaa tai välittämää energiaa, kuten hydraulista, pneumaattista, sähköistä, mekaanista tai lämpöenergiaa. Informaatiovirta kuvaa moduuliin tulevan informaation fyysistä olomuotoa, esimerkiksi tietokoneen kovalevyllä oleva data kulkeutuu prosessorille sähköisenä signaalina. [Ogot 2004, s.3] Virtauksia voidaan jakaa vielä alaryhmiin, alla esimerkkinä Stonen mukaan (taulukko 2.4). Joissain tapauksissa voi kuitenkin olla epäselvää, mitä kunkin virtauksen konkreettinen muoto tietyssä rajapinnassa edustaa. Esimerkiksi hydraulijärjestelmissä liikkuva öljy voidaan käsittää sekä nestemäisenä materiaalina että hydraulisena energiana. Stonen määritelmän mukaan erona on virtauksen aiheuttama työ; liikkuva öljy käsitetään materiaalina, kun taas liikkuvan hydrauliöljyn aiheuttama *työ*, kuten öljyn liikkeen aiheuttama hydraulisylinterin liike, määritellään energiavirraksi. [Stone 1997, s.191 - 197]

Taulukko 2.4 Virtausluokat, niiden perus- ja alaryhmät sekä määritelmät. [Stone 1997, s.27]

Class	Basic	Sub-basic	Complements	
Material	Human		Hand, foot, head ,etc.	
	Gas			
	Liquid			
	Solid			
Signal	Status	Auditory	Tone, Verbal	
		Olfactory		
		Tactile	Temperature, Pressure, Roughness	
		Taste		
		Visual	Position, Displacement	
	Control			
			Bond graph based complement	
Class	Basic	Sub-basic	Effort analogy	Flow analogy
Energy	Human		Force	Motion
	Acoustic		Pressure	Particle velocity
	Biological		Pressure	Volumetric flow
	Chemical		Affinity	Reaction rate
	Electrical		Electromotive force	Current
	Electromagnetic	Optical	Intensity	Velocity
		Solar	Intensity	Velocity
	Hydraulic		Pressure	Volumetric flow
	Magnetic		Magnetomotive force	$\frac{d}{dt}$ magnetic flux
	Mechanical	Rotational	Torque	Angular velocity
		Translational	Force	Linear velocity
		Vibrational	Amplitude	Frequency
	Pneumatic		Pressure	Mass flow
	Radioactive		Intensity	Decay rate
	Thermal		Temperature	Heat flow
Overall increasing degree of specification ➠				

2.2.4 Modulaarisuuden kehityksen tasot

Tuotekehityksessä itse tuotteen kehittämisen kanssa yhtä tärkeässä osassa on sen tuoterakenteen kehittyminen. Lehtonen esittää modulaaristen tuoterakenteiden kehitykselle viisi vaihetta (kuva 2.9). Modulaarisen tuoterakenteen kehittämisen perustana on vakiointi. Tuotteessa käytettäviä komponentteja ja kokoonpanoja pitää vakioida jotta niitä voidaan käyttää hyväksi eri tuotevarianteissa. Ilman vakiointia tuoterakenteen modulointi ja modulaarisuuden kehittäminen ei onnistu.

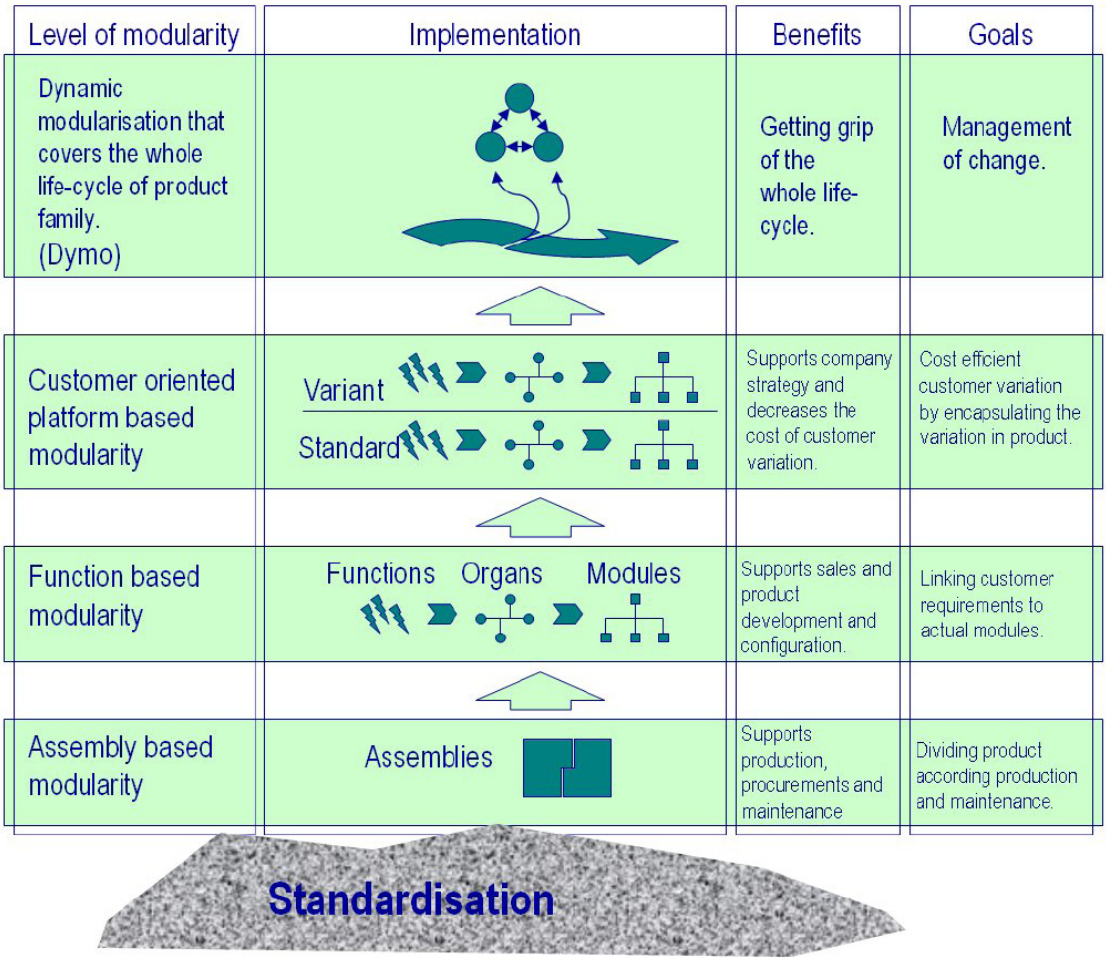
Kokoonpanoperusteinen modulaarisuus (vrt. Pahl & Beitz valmistusmoduulit) on vanhin ja yleisin modulaarisuuden muoto tuoterakenteille. Tuote on jaettu tuotannossa mahdollisesti ennalta valmistettaviin ja lopulta kokoonpantaviin kokonaisuuksiin. Tällä

tavalla koottu rakenne sopiikin erittäin hyvin tuotannon tarpeisiin, ja se tukee myös hankintaa ja huoltoa.

Seuraavana kehitysaskeleena on toimintopohjainen modulaarisuus, missä tuotteen fyysiset kokonaisuudet on jaoteltu sen toimintojen mukaisiin kokonaisuuksiin. Tällainen rakenne on edullinen muun muassa markkinoinnin kannalta sillä asiakkaita tyypillisesti kiinnostavat enemmän tuotteen eri toiminnot kuin niitä toteuttavat fyysiset komponentit. Rakenne tukee myös tuotekehitystä ja erityisesti ylläpitosuunnittelua. Vaikka lopulliset muutokset tuotteissa tehdäänkin fyysisiin komponentteihin, niillä on lähes aina taustalla sen toimintoihin liittyvä tarve, jolloin näihin liittyvien komponenttien kokoaminen samaan kokonaisuuteen helpottaa muutosten tekemistä.

Kolmantena vaiheena on asiakasvarioituva, alustalle rakentuva modulaarisuus, missä tuote rakentuu vakio-osasta (platform) ja siihen liitettävistä muuttuvista osista. Tällöin tuotteen vakiointiprosessi on jo melko pitkällä, ja tuotevarianteissa on havaittavissa selkeitä samankaltaisuuksia. Tuotevarianteista on löydetty yhtenevät ominaisuudet, jotka ovat asiakasmuuntelun kannalta yhdentekeviä, ja jotka on koottu jokaiselle variantille vakioiduksi alustaksi. Platform -modulaarisuus tukee erityisesti tuoteperheajattelua.

Neljättä ja kaikkein ylintä tasoa Lehtonen nimittää dynaamiseksi modulaarisuudeksi (Dymo). Ajatuksen ovat tuoneet esille Andreasen ja Riitahuhta vuonna 1998. [Lehtonen 2007] Taso on johdettu platform-ajattelusta ottamalla huomioon uutena ulottuvuutena tuotteen elinkaari. Tällöin irrottaudutaan suunnittelemasta pelkästään tuotteen fyysisiä ja toiminnallisia kokonaisuuksia, ja siirrytään ajattelemaan laitetta koko sen elinkaaren kannalta. Asiakkaan tarpeet ymmärretään siinä määrin, että valmiiden kokonaisuuksien tarjoamisen sijaan voidaan tarjota tuotteita, joita on mahdollista muokata asiakkaan tarpeiden muuttuessa niiden elinkaaren aikana.



Kuva 2.9 *Modulaaristen tuoterakenteiden kehityksen teoria. [Lehtonen 2007, s.92]*

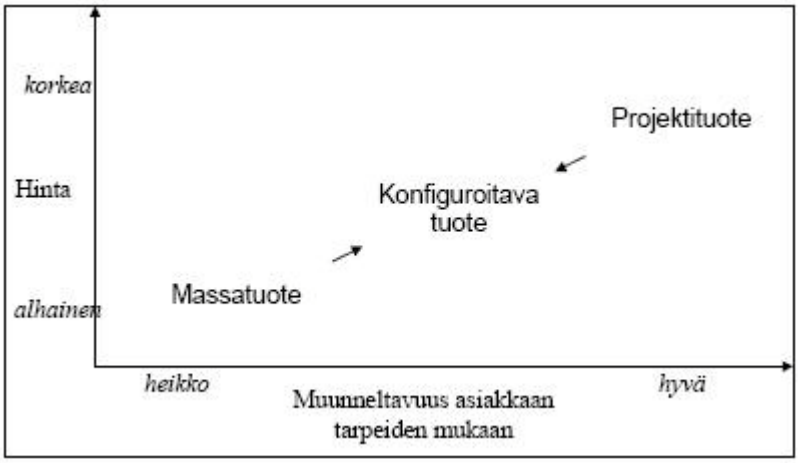
2.3 Asiakaskohtainen muuntelu

Tuotteiden modulaarisuuden kehittämisellä pyritään tuotteen muuntelun helpottamiseen ja sitä kautta hyvään sekä kattavaan tuotetarjontaan mahdollisimman pienin ylläpitokustannuksin. Moduloinnilla synnytetyistä osakokonaisuuksista voidaan koota erilaisia tuotevariantteja, joilla pystytään vastaamaan monenlaisiin asiakasvaatimuksiin. Tästä syntyy kuitenkin väistämättä varioituvuutta, joka on yhteydessä ylläpitokustannuksiin.

Asiakaskohtainen muuntelu ei kuitenkaan ole vain edellä mainittujen teknisten seikkojen optimoimista. Muuntelun määräävänä tekijänä on yrityksen tuotepolitiikka eli talous- ja myyntistrategia, johon on määritelty millaisia tuotteita yritys haluaa myydä ja suostuu myymään. Konfiguroitavia tuotteita myytäessä tuotepolitiikka selkiytyy, ja tämän on voimakkaasti ohjattava myyntiä konfiguroitavan tuotteen antamiin mahdollisuuksiin. Asiakastarpeiden tyydyttäminen siis heikkenee täysin vapaan räätälöinnin jäädessä pois. Riittävän suuri osa tarpeista voidaan kuitenkin tyydyttää riittävän hyvin, mikäli tuotetarjonta määritellään tarpeeksi hyvin. [Tiihonen 1999, s.21]

2.3.1 Massakustomointi ja massaräätälöinti

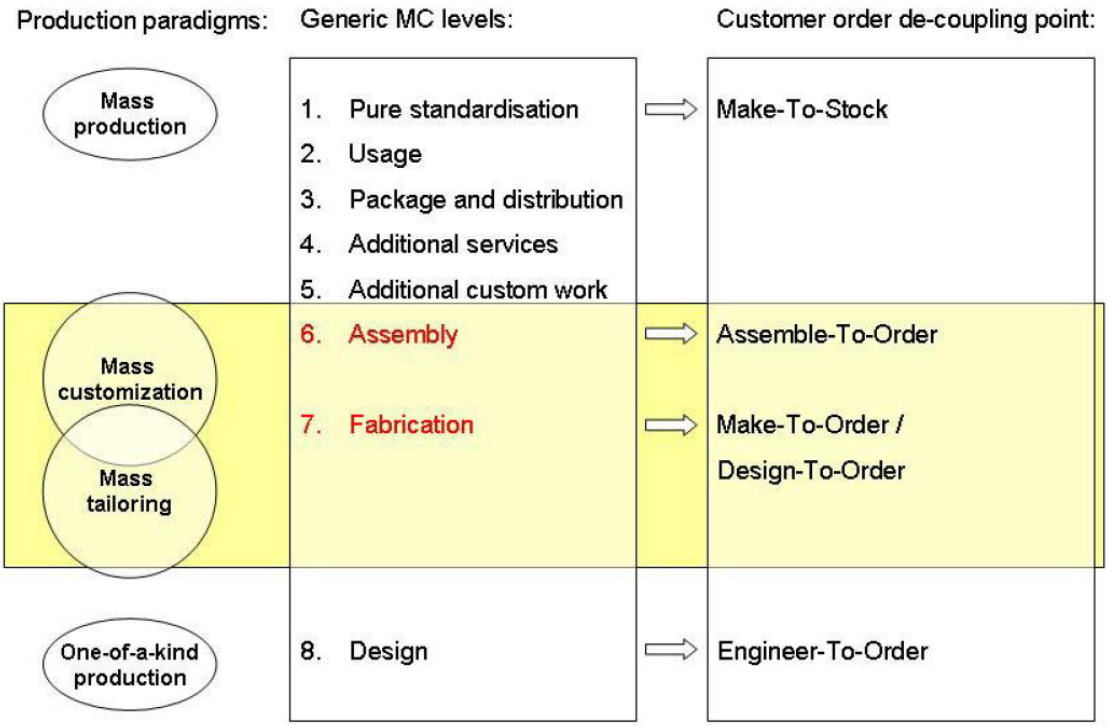
Määriteltäessä tuotteita muunneltavuuden suhteen ääripäissä ovat massatuote ja projektituote. Tiihonen et al. kuvaavat massa- ja projektituotteiden eroa muunneltavuuden ja kokonaiskustannusten suhteen (kuva 2.10).



Kuva 2.10 *Konfiguroitaviin tuotteisiin siirtymisen vaikutus tarjontakykyyn. [Tiihonen et al. 1997]*

Massatuotteelle on ominaista alhaiset kustannukset, mutta toisaalta myös heikko muunneltavuus. Projektituote on taas hyvin muunneltavissa mutta sen kustannukset ovat korkeat. Siirryttäessä kohti paremmin asiakaskohtaiseen muunteluun soveltuvia eli konfiguroituvia tuotteita pyritään näiden kahden ominaisuuden optimitilanteeseen. Riippuen siitä, siirrytäänkö näihin tuotteisiin massa- vai projektituotteista, puhutaan joko massakustomoinnista (mass customization) tai massaräätälöinnistä (mass tailoring). [Skjevdal & Idshoe 2005]

Termien määritelmissä ja käytössä on eroavaisuuksia lähdekirjallisuudessa. Skjevdal & Idshoe erottavat termit toisistaan pystyäkseen kuvaamaan konfiguroituviin tuotteisiin siirtyvien yritysten erilaiset ongelmat riippuen siitä ovatko ne aiemmin keskittyneet massa- vai projektituotteisiin. Pine käyttää ilmaisua ”mass customization”, joka on tyypillisesti suomennettu massaräätälöintinä (esimerkiksi Sarinko 1999). Pine soveltaa teoriaansa kuitenkin massatuotteita valmistaviin yrityksiin. Duray et al. väittävät Pinen teorian soveltuvan myös projektituotteita valmistaviin yrityksiin, mutta käyttävät siitä silti ilmaisua ”mass customization”. [Duray et al. 2000] Tässä työssä käytetään molempia termejä Skjevdalin ja Idshoen määritelmän mukaisesti.



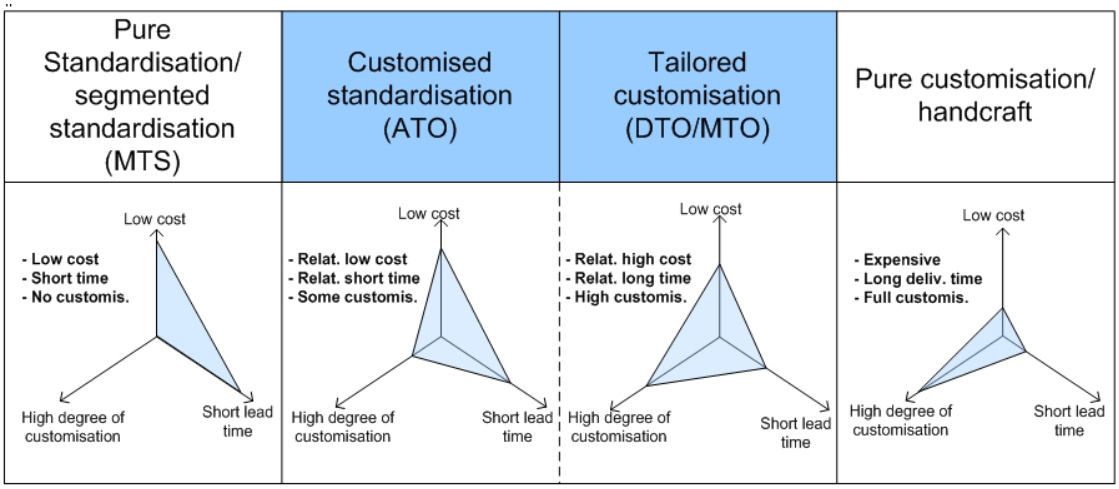
Kuva 2.11 *Tuotantomuotojen, massakustomoinnin tasojen sekä toiminnan ohjaustapojen yhteneväisyydet. [Skjevdal & Idshoe 2005], [Da Silveira et al. 2001] sekä [Steger-Jensen et al. 2004]*

Kuvassa 2.11 esitellään tuotannon muotojen, massakustomoinnin tasojen sekä toiminnan ohjaustapojen yhteneväisyyksiä. Tuotannon muotojen ääripäissä ovat jo edellä mainitut massa- sekä projektituotetuotanto, joita vastaavat massakustomoinnin tasot 1 (standardointi) massatuotannossa ja 8 (erillinen suunnittelu) yksittäistuotteissa. Tasoilla 2-5 ei juuri ole merkitystä massakustomoinnissa, sillä ne voidaan käsittää massatuotannon viitekehyksessä toteutettaviksi.

Vaikuttimena molempien suuntausten takana on asiakastarpeiden täyttäminen. Massatuotteita valmistavien yritysten asiakkaat eivät enää halua ostaa standardoituja tuotteita ja projektituotteiden ostajat eivät halua maksaa erikoishintoja heille tehdyistä erikoistuotteista tai ominaisuuksista. [Steger-Jensen et al. 2004] Toisaalta, projektituotteita valmistavalla yrityksellä muutosta vaikeuttavat niin itse tuotteet kuin myös niiden markkinat, joiden kummankin luonteeseen kuuluu pitkälle viedyn asiakaskohtaisen räätälöinnin arvostaminen. Tämän vuoksi yrityksillä ei juuri ole mahdollisuuksia siirtyä toiminnassaan kuvan 2.11 tasoa 7 eteenpäin. [Skjevdal & Idshoe 2005]

Skjelstad et al. kertovat, että muunneltavuuden ja kustannusten lisäksi tärkeä näkökulma on myös tilaus-toimitusprosessin läpimenoaika. Kuva 2.12 esittää muuntuvien tuotteiden valmistamisen ominaisuuksia muunneltavuuden, kustannusten ja läpimenoajan suhteen. Massatuotteille läpimenoaika on verrattain lyhyt:

tuoteyksilökohtaista suunnittelua ei käytännössä ole, ja valmistus noudattelee pitkälle standardoituja menetelmiä. Projektituotteet taas suunnitellaan miltei alusta loppuun prosessin aikana, ja valmistus mukautuu jokaisen yksilön kohdalla.



Kuva 2.12 *Muunneltavien tuotteiden valmistuksen ominaisuudet muunneltavuuden, kustannusten ja läpimenoaikojen suhteen. [Skjelstad et al. 2005]*

Asiakaskohtaisen muuntelun suuntauksina massakustomointi ja massaräätälöinti johtavat molemmat tarpeeseen konfiguroida tuotetta. Siirryttäessä ääripäistä kohti keskialuetta ongelmat ovat kuitenkin erilaisia. Projektituotteita valmistavan yrityksen markkinat sekä tuotteiden luonne vaikeuttavat niiden siirtymistä pitkälle standardoituihin tuotteisiin. Ongelmien erilaisuudet näkyvät myös tuoterakenteissa. Massatuotteita valmistavan yrityksen tuotteille on ominaista pieni varioituvuus. Tuoterakenteet ovat vakioituja eikä niitä ole suunniteltu muuntelua silmällä pitäen. Pyrittäessä uudenlaisten asiakasvaatimusten täyttämiseen tuotevarianttien lukumäärä kasvaa ja tuoterakenteet monimutkaistuvat, mitkä hankaloittavat siirtymistä massakustomoituihin tuotteisiin. Projektituotteita valmistavat yritykset tekevät jokaiselle uudelle asiakkaalle oman uniikin tuotteen, ja monesti näillä yrityksillä ei ole edes ollut formalisoitua tuoterakennetta. Saadakseen taloudellisen hyödyn massaräätälöinnistä niiden täytyy standardisoida ja moduloida tuotteitaan, mikä taas vaatii tarkasti määritellyn tuoterakenteen. [Skjevdal & Idshoe 2005]

2.3.2 Konfigurointi

Mikäli tuote halutaan suunnitella konfiguroitavaksi, sen pitää toteuttaa seuraavat ehdot [Riitahuhta 1997]:

- Asiakkaiden tarpeet on selvitetty
- Tuote on analysoitu, ja tuotekehityksessä on huomioitu modulaarinen ajattelu
- Tiedonsiirto tuotekehityksen eri vaiheiden välillä on esteetöntä, mikä mahdollistaa rinnakkaissuunnittelun

Asiakkaan tarpeiden selvittämisessä on tiedostettava ne ominaisuudet, joita asiakkaat arvostavat tuotteissa ja määritellä ne ominaisuudet, joissa tarvitaan erilaisia variaatioita. Tätä ei kuitenkaan pidä ymmärtää pelkästään olemassa olevien asiakkaiden tarpeiden kartoittamisena vaan tarpeet pitää selvittää markkinalähtöisesti. Yksi konfiguroinnin perusajatuksista on tarjota erilaisia variaatioita erilaisiin tarpeisiin, jolloin myös asiakaspohjan laajentaminen entisestään on mahdollista.

Tuotteen muunneltavuus eli konfiguroituvuus määräytyy kuitenkin tuotekehityksessä. Kaikissa tuotevarianteissa käytettävät vaihtoehtoiset osakokonaisuudet on oltava helposti asennettavissa. [Peltonen et al. 2002] Modulaarinen ajattelu, jossa yksi toiminto on rajattu yhteen osaan, tukee hyvin tätä ajattelua.

Tuotekehitys on pitkä prosessi, jossa on mukana useita eri tahoja ja erilaisia osaprosesseja on samanaikaisesti toiminnassa limittäin. Yhteistoiminta eri toimijoiden ja prosessien välillä on välttämätöntä jotta ei jouduta tilanteeseen, jossa tuotekehityksen osapuolet tuottavat yhteen sopimattomia ratkaisuja. Kääntäen tämä mahdollistaa myös osaprosessien limittämisen, mikä lyhentää tuotekehityksen läpimenoaikaa.

Konfiguroituvia tuotteita tutkittaessa niissä on tunnistettavissa tiettyjä ominaisuuksia. [Tiihonen 1999, s.12]

- Tuote on muunneltavissa asiakkaan vaatimusten mukaiseksi
- Tuote on etukäteen suunniteltu täyttämään samankaltaisia mutta silti erilaisia asiakasvaatimuksia
- Tuote kootaan pääasiassa esisuunnitelluista komponenteista
- Tuotevariantit ovat etukäteen määritellyn yleisen tuoterakenteen mukaisia
- Asiakaskohtaisissa tilauksissa tarvitaan ainoastaan muunnelmasuunnittelua

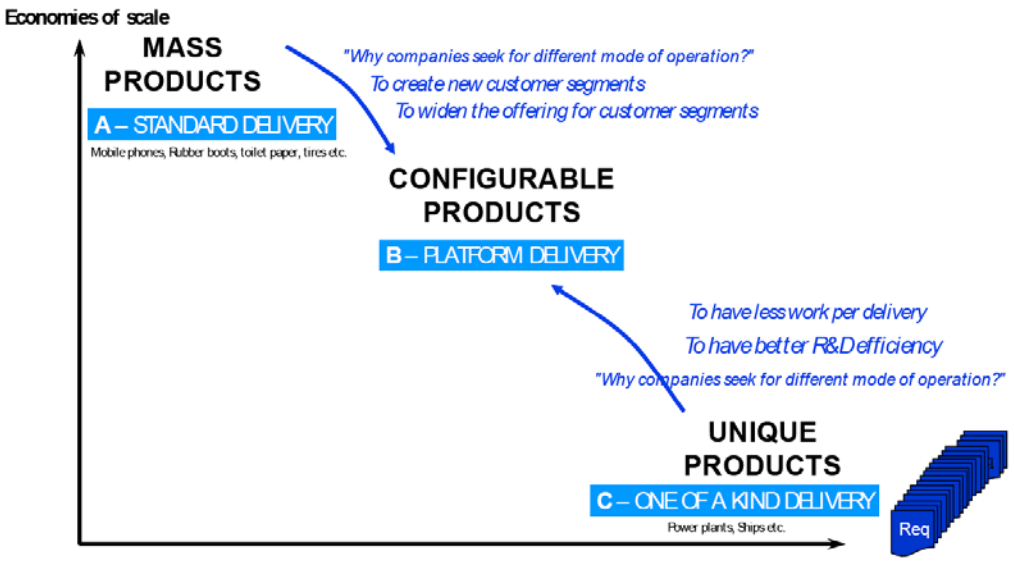
Konfiguroituvuus voidaan nähdä modulaarisuuden tapaan myös tuotteen suhteellisena ominaisuutena, ja nämä kaksi kulkevat yleensä käsi kädessä. Tämä on havainnollistettavissa erityisesti Tiihosen määritelmän kolmannella ominaisuudella. Vaatimus tuotevariantin kokoamisesta pääasiassa esisuunnitteluista komponenteista pätee konfiguroituville tuotteille, jolloin myös Ulrich & Tungin modulaarisuuden määritelmän mukainen osien vaihtokelpoisuus toteutuu. Liikuttaessa kohti projektituotteiden valmistusta esisuunniteltujen komponenttien määrä tuotevarianteissa laskee asiakasräätälöinnin lisääntyessä, ja samalla osien vaihtokelpoisuus pienenee vähentäen tuotteen modulaarisuutta.

Yksi tapa konfiguroinnin luokitteluun on ABC-jako, jossa se jaotellaan erilaisiin prosesseihin konfiguroinnin ja asiakaskohtaisen suunnittelun suhteen perusteella. Näin pystytään ohjaamaan konfigurointimallin mukaiset tuotteet kevyemmällä prosessilla kuin asiakaskohtaista suunnittelua vaativat tuoteyksilöt. [Tiihonen 1999]

Mikäli tuote toimitetaan normaalin tilaustoimitusprosessin puitteissa suoraan konfigurointimallin mukaisena, on kysymyksessä A-prosessi, joka tuottaa A-tuotteita. Tällöin tilauskohtaista suunnittelua ei tarvita ollenkaan vaan tuoteyksilö voidaan koota pelkästään jo valmiiksi suunnitelluista osakokonaisuuksista.

Jos jo olemassa olevista komponenteista kootaan täysin uudenlaisia variantteja, mutta työ ei vielä sisällä uusien osakokonaisuuksien suunnittelemista, puhutaan B-prosessista. Siinä on myös mahdollista käyttää hyväksi A-prosessia ohjaamalla tällä tuotteen valmistusta niiltä osin, kuin ne eivät vaikuta uusiin variaatioihin.

C-prosessissa tuotteeseen suunnitellaan yksi tai useampi uusi asiakaslähtöinen komponentti. Kuten B-prosessissa, myös C-prosessissa voidaan hyödyntää A-prosessia mutta tämän käytettävyys riippuu paljolti uusien komponenttien mukanaan tuomien muutosten laajuudesta ja paikallisuudesta. [Tiihonen 1999]



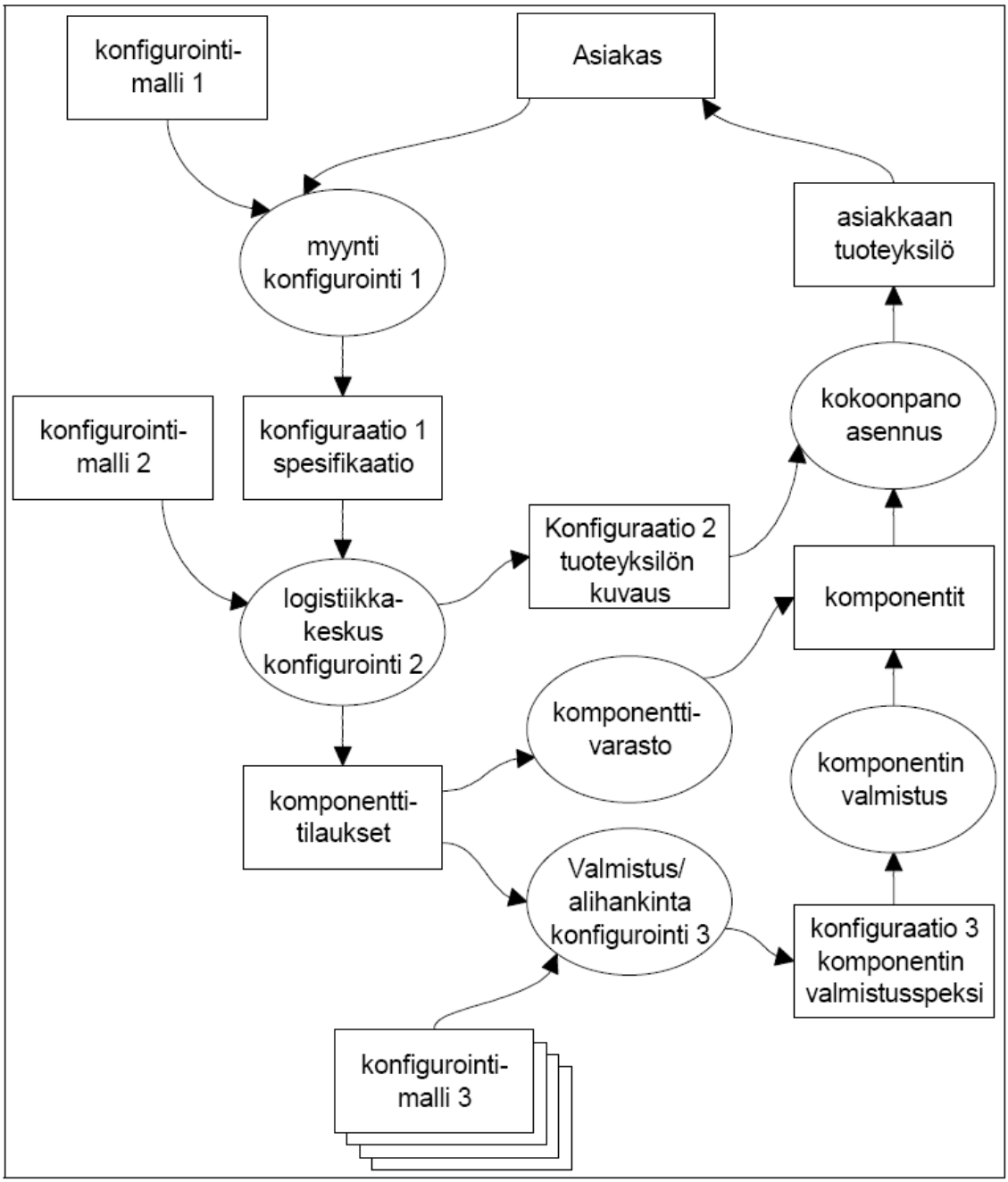
Kuva 2.13 *Konfiguroitavien tuotteiden ABC-jako tuotannon taloudellisuuden ja asiakasvaatimusten kohtaamisen suhteen. [Juuti et al. 2006]*

ABC-luokittelussa eri prosessien määritelmät vaihtelevat lähdetiedoista riippuen. Schomburg käyttää samankaltaista jaottelua, mutta merkittävimpänä erona Tiihosen kuvaukseen on lisätty D-prosessi, jonka tuloksena on täysin asiakkaan vaatimusten mukaan ja erillisellä suunnitteluprosessilla tehty tuote, jota vastaa projektituotteen määritelmää. [Pulkkinen 2007, s.85] Juuti et al. käyttävät jaottelussaan vain A-, B-, ja C-tuotteita, mutta eivät tee eroa Tiihosen B- ja C-tuotteiden välillä vaan käsittelee toimittaja- ja asiakaskohtaisia uusia variantteja yhdessä, ja kuvaa C-tuotetta projektituotteena.

Toinen tapa konfiguroinnin tasojen luokitteluun on jako erillisiin osaprosesseihin, joissa tuoteyksilön tuoterakenne tarkentuu siirryttäessä tilaus-toimitusprosessissa vaiheesta

toiseen. [Lehtonen 2007], [Tiihonen 1997] Näitä ovat myynnin, suunnittelun ja tuotannon konfigurointi. [Lehtonen 2007, s.71] Yksinkertaisissa tuotteissa yksivaiheinen konfigurointi on riittävä täsmällisen tuotetiedon muodostamiselle, jolloin tuotanto voidaan aloittaa. Vastaavasti erittäin monimutkainen tuote vaatii useampia konfiguroinnin tasoja. [Peltonen et al. 2002]

Osaprosessien määritelmistä voidaan löytää analogia myös edellä mainittuun ABC-jakoon. Myynnin konfiguraatio keskittyy tuotteen ominaisuuksien valitsemiseen, jotka hyvin konfiguroitavaksi suunnitellussa tuotteessa vastaavat suoraan tuotteen valmistusrakennetta, toisin sanoen jokainen valittu ominaisuus sisältää myös tiedon sen asentamisesta. Tällainen tuote vastaa A-tuotetta. Mikäli konfiguroitava tuoteyksilö ABC-jaon määritelmän mukaisesti vaatii tilauskohtaista suunnittelua, on kyseessä B- tai C-tuote (Schomburg). Vastaavasti monimutkainen tuote, jota B-, C- tai D-tuote tilauskohtaisen suunnittelunsa takia edustaa, saattaa tuotannon konfigurointi olla myös tarpeellista.



Kuva 2.14 *Konfiguroitavien tuotteiden tilaus-toimitusprosessi. [Tiihonen 1999, s.44]*

Myynnin konfiguraatio keskittyy asiakkaan haluamien ominaisuuksien valintaan. Asiakas ei tyypillisesti ole kiinnostunut itse komponenteista, joista tuote lopulta rakennetaan, vaan tuotteen ominaisuuksista, hinnasta ja toimitusajasta. Häntä kiinnostaa myös edellisten keskinäiset vaikutussuhteet, esimerkiksi miten erilaisten ominaisuuksien valitseminen tai valitsematta jättäminen vaikuttaa tuotteen hintaan tai toimitusaikaan. Myyntikonfiguraattori voi olla ohjelmistopohjainen konfiguraattori tai pelkästään paperilla oleva listaus ominaisuuksista. Tärkeintä on, että myynnin konfiguroinnilla syntyy todenmukaista tuotetietoa, ja sen perusteella syntynyt tuoteyksilö voidaan valmistaa. Tällöin prosessin aikana täytyy olla tiedossa erilaisten

ominaisuuksien keskinäiset suhteet ja niiden mahdolliset ristiriidat. [Peltonen et al. 2002]

Suunnittelun konfiguraatio käsittelee tuotteen rakennetta komponenttitasolla myynnin konfiguraation pohjalta. Suunnittelua saatetaan tarvita myös, mikäli asiakkaan valitsemien ominaisuuksien yhdistelmää ei ole ennen valmistettu tai kyseiseen tuoteyksilöön on tehtävä asiakaskohtaista suunnittelua (vrt. B-tuote). Suunnittelussa apuna on jo tyypillisesti ohjelmistopohjainen konfiguraattori. Monimutkaisimmissakin tuotteissa suunnittelun konfiguraatio on komponenttien listauksen osalta tarkka kuvaus tuoteyksilöstä, ja sen perusteella laitteen valmistus voidaan viimeistään aloittaa.

Tuotannon konfiguraatiota esiintyy yleensä vain monimutkaisilla tuotteilla. Näille on tyypillistä tuotteen pääkokoonpanojen alla tapahtuvat muutokset, kuten parametriset komponentit. Parametrisointia voi tapahtua esimerkiksi alihankittavien komponenttien kanssa. Tällaiset osat ovat tyypillisesti alihankkijan näkökulmasta kokonaisuuksia, jotka konfiguroidaan tiettyyn tuoteyksilöön sopiviksi vasta tuotannossa. Tyypillisiä tällaisia kokoonpanossa muokattavia komponentteja ovat tietotekniset komponentit. Tuotannon konfiguraatio on viimeinen ja tarkka esitys valmistettavasta tuoteyksilöstä. [Tiihonen 1999, s.46-47]

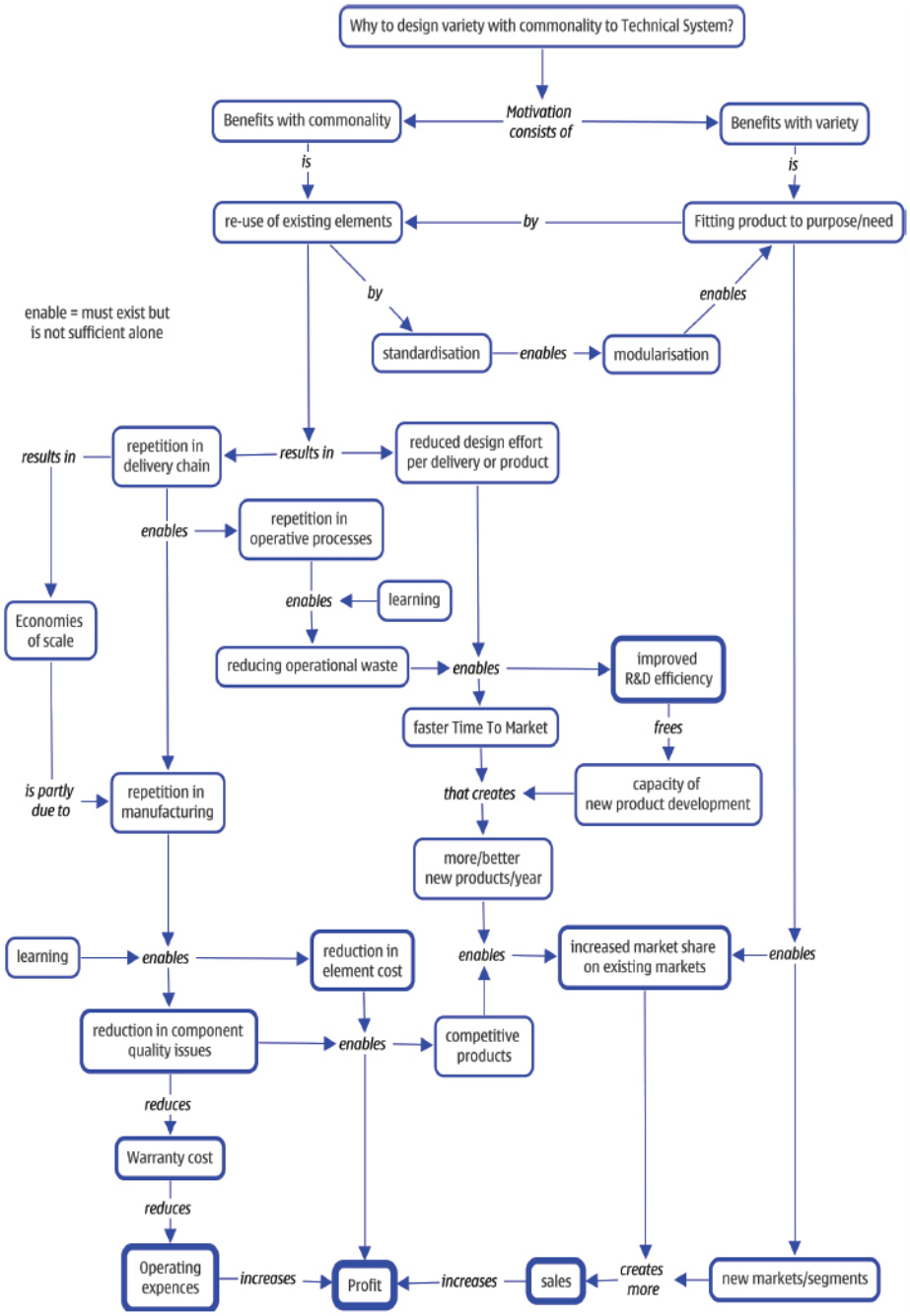
2.3.3 Varioituvuus

Asiakaskohtainen muuntelu johtaa väistämättä varioituvuuteen ja erilaisten ratkaisujen hallintaan. Tuotteen varioitumista voidaan tarkastella useista näkökulmista myös tuotteen tilaus-toimitusprosessin eri vaiheissa, joissa jokaisessa on havaittavissa erilaisia vaikutuksia.

Tuotteen markkinoiminen ja myynti on helpompaa, mikäli tuotevarianteilla pystytään täyttämään monia erilaisia asiakastarpeita. Tuotekehityksessä varioituvuus näkyy ylläpidon työmäärässä ja sitä kautta kohonneina ylläpitokustannuksina. Varioituvuus hankaloittaa hankintaa, mikäli se johtaa alihankintaketjujen sirpaloitumiseen eli varioituminen pakottaa ostamaan osia muilta kuin vakioiduilta alihankkijoilta. Tuotannon työmäärä varioituvuuden vuoksi on paljolti riippuvainen tuotekehityksestä; tuotanto suoriutuu varioituvuudesta sitä helpommin, mitä paremmin se on tuotteen arkkitehtuurissa otettu huomioon. Sopivilla valinnoilla tuotevariaatiot näkyvät ja vaikuttavat tuotantoon mahdollisimman vähän. [Huhtala & Pulkkinen 2009] Jälkimarkkinoinnin työmäärää varioituvuus lisää tarvittavien ja päivitettävien nimikkeiden sekä niiden dokumenttien määrän kasvun muodossa.

Juuti kuvaa väitöskirjassaan varioituvien tuotteiden suunnitteluprosessia sekä varioituvuuden ja yhteisten ominaisuuksien hyväksikäyttöä. Kuva 2.15 esittää vuokaavion varioituvuuden ja yhteisten ominaisuuksien käytön syys-seuraussuhteille tuotteissa. Kaavio esittää, että tuotteen varioituvuutta voidaan toteuttaa sekä luomalla

yksittäisiä variantteja että käyttämällä hyväksi yhteisiä ominaisuuksia. Molemmilla suuntauksilla on positiivisia vaikutuksia tuotteen myyntiin ja sitä kautta tuottoon. Yhteisten ominaisuuksien hyväksikäytön edut eivät näy suoraan myynnin ja tuoton parantumisessa, vaan hyöty saavutetaan tilaus-toimitusketjun osatoimijoiden tehokkuuden parantuessa. Tuotekehityksessä yhteisten ominaisuuksien hyväksikäyttö vähentää kehitettävien kokonaisuuksien määrää ja samalla myös työmäärää jokaista tilausta ja tuotetta kohti. Toimintojen toistamisen kautta syntyy tuotannon tehostumista oppimisen myötä sekä laatuongelmien vähenemistä suuremman volyymin kautta.



Kuva 2.15 *Varioituvuuden ja yhteisten ominaisuuksien käytön etujen syy-seuraussuhteet. [Juuti 2008, s.6]*

Keskeisimpänä johtopäätöksenä on suunnitteluprosessin ja halutun tuoterakenteen yhteys; tietyntyyppiset tuoterakenteet vaativat tietynlaisen suunnitteluprosessin. Hän toteaa, että valittu suunnitteluprosessi tuottaa halutun tuoterakenteen mikäli suunnitteluprosessin tehtävät sekä väli- ja lopputavoitteet ovat kaikki yhteydessä toisiinsa. On myös huomioitava, etteivät edellä mainitut osatekijät omaa älykkyyttä tai ole itseohjautuvia, vaan niiden koheesiota täytyy aktiivisesti hallita. Väitöskirjaa varten tehtyjen yritystutkimusten perusteella on myös nähtävissä, ettei yrityksissä aina olla tietoisia osatekijöiden yhteyksistä tai niiden koheesion eduista. [Juuti 2008]

Varioituvuus aiheuttaa aina työtä tuotteen tilaus-toimitusprosessissa mutta hyvin suunniteltuna ja hallittuna se rasittaa prosessia mahdollisimman vähän, ja se näkyy lopulta asiakkaalle tuotteena, jonka voi muokata omien tarpeidensa mukaiseksi. Asiakkaan näkökulma onkin tärkein tekijä varioituville tuotteille. Asiakkaalle varioituvuus voi merkitä tuotteen kosmeettisia muutoksia tai sen toimintoihin liittyviä erilaisuuksia. [Virtanen 2010] Tällaista ulospäin näkyvää tuotteen muuntumista kutsutaan ulkoiseksi varioituvuudeksi.

Tuotteen sisäinen varioituvuus eli tuotteen rakenteen muuntuminen, joka ei näy ulospäin fyysisenä tai toiminnallisena erilaisuutena, on täysin tuotteen toimittajan hallinnassa. Varsinkin tuotekehityksen rooli korostuu sisäisen varioituvuuden hallinnassa. Asiakas ei ole kiinnostunut sisäisestä varioituvuudesta tai varsinkaan sen aiheuttamista lisäkustannuksista, sillä ne ovat hänelle näkymättömiä eivätkä tuota lisäarvoa. [Sarinko 1999] Tuotekehityksen tuleekin pyrkiä suunnittelemaan tuote vastaamaan asiakasvaatimuksia kuitenkin samalla minimoiden tästä johtuvaa sisäistä varioituvuutta. [Riitahuhta & Pulkkinen 2001]

Varioituvuuden hallinnassa keinoja ovat varioituvuuden vähentäminen ja sen rajaaminen. Vähentäminen tarkoittaa tuotteen osakokonaisuuksien vakiointia, ja sitä voidaan suorittaa monella eri tasolla aina yksi komponenteista jopa moduuleihin asti. Muuntuvan tuotteen luonteesta johtuen tämä ei ole yksinään paras vaihtoehto, sillä vakioimisen potentiaali saattaa jäädä melko pieneksi. Varioituvuuden rajaamisen keinona on jo aiemmin mainittu modulointi. [Virtanen 2010]

2.4 Tuotetiedon hallinta

Muunneltavia tuotteita valmistavalle yrityksellä tuotetiedon hallinnalla (engl. PDM, Product Data Management) on keskeinen rooli. Asiakkaiden palvelu ja nopea reagointi muuttuviin markkinoihin on yrityksille elinehto. Edellä mainittuihin liittyvät muun muassa nopea tuotekehitys- ja tilaus-toimitusprosessi, joihin voi tulla nopeitakin muutoksia, jopa yhtä asiakasta varten. Tällöin tuotetiedon hallinnan ydin eli tuotteeseen ja yrityksen toimintaan liittyvän tiedon luominen, säilyttäminen ja tallentaminen pitää

järjestää siten, että tiedon löytäminen, jalostaminen, jakelu ja uudelleenkäyttö jokapäiväisessä työssä on helppoa. [Sääksvuori & Immonen 2002, s.13]

2.4.1 Tuotetiedon hallinnan tehtävät

Peltonen et al. sekä Sääksvuori & Immonen määrittelevät tuotetiedon hallinnan pääalueet seuraavasti [Peltonen et al. 2002], [Sääksvuori & Immonen 2002]:

- nimikkeiden hallinta
- dokumenttien hallinta
- tuoterakenteiden hallinta
- muutosten hallinta

Crnkovic et al. keskittyvät PDM-järjestelmien tehtävien määrittelyssään erityisesti tuoterakenteiden hallintaan. Tähän alueeseen kuuluvat esimerkiksi: [Crnkovic et al. 2003]

- tuotteiden konfiguroinnin hallinta
- tuotevarianttien, optioiden ja vaihtoehtojen hallinta
- erilaisten näkymien muodostaminen tuoterakenteesta

Edellä mainitut lähteet nostavat PDM-järjestelmien tärkeäksi ominaisuudeksi myös integraatiot ja tiedon siirtämisen muihin järjestelmiin, kuten suunnittelu-, tuotannonohjaus- ja toiminnanohjausjärjestelmien välillä.

2.4.2 Nimikehallinta

Tuotetiedon hallinnassa nimike on systemaattinen ja standardi tapa identifioida, koodata ja nimetä fyysinen tuote, tuotteen osa tai komponentti, materiaali tai palvelu. [Sääksvuori & Immonen 2002, s. 19] Peltonen et al. mukaan nimikkeiden hallinta on tuotetiedon hallinnan perusta. Niiden luomisessa tulee nopeasti esille kysymys siitä, mitkä asiat tulisi esittää PDM:ssä nimikkeinä. Jos yhtiö ostaa standardikomponentteja, kuten ruuveja ja muttereita isoissa erissä, onko nimike ostopakkaus vai yksittäinen komponentti? Käsitetäänkö jokin teräskokoonpano hitsattuna ja koneistettuna eri osana?

Nimikkeiden hallintaan kuuluu myös niiden erilaiset näkymät. Näiden toteutustavat vaihtelevat järjestelmien välillä eikä niitä välttämättä edes kutsuta näkymiksi, mutta niiden määritteleviä toimintoja tarvitaan onnistuneeseen nimikehallintaan. [Peltonen et al. 2002, s. 45-46]

- **Elinkaarinäkymä:** kuvaa nimikkeen dynamiikkaa. Nimikkeiden tiedoissa tapahtuu niiden elinaikana paljon muutoksia, ja näiden vaikutukset on pystyttävä hallitsemaan. Toteutetaan revisiomekanismilla.
- **Luokittelunäkymä:** nimikkeiden määrän kasvaessa pitää järjestelmässä olla toiminto, jolla nimikkeet löytyvät nopeasti. Nimikkeiden luokittelun lisäksi tarvitaan tehokkaasti nimikkeiden attribuutteja hyväksikäyttävä hakutoiminto.
- **Kielinäkymä:** yksi tuotetiedonhallinnan tehtävistä on helpottaa kommunikaatiota, joten PDM-järjestelmän on pystyttävä tarjoamaan tiedot käyttäjän valitsemalla kielellä.
- **Tilanäkymä:** tällä kuvataan nimikkeen käyttökelpoisuutta. Tätä voidaan kuvata esimerkiksi efektiivisyydellä, joka kertoo nimikkeen mahdollisista muutostiloista ja käytössä olevista versioista. Efektiivisyyteen liittyy myös tieto siitä, onko nimike enää sallitussa käytössä.
- **Rakennehierarkianäkymä:** nimikkeet on kyettävä liittämään toisiinsa erilaisilla yhteyksillä, joilla muodostetaan hierarkkisia näkymiä, kuten tuoterakenteita.

Yrityksen operatiivisen johdon vastuulla on määritellä, mitkä tuotteisiin liittyvät tiedot käsitellään tuotetiedon hallinnan puolella nimikkeinä ja mitkä tiedot jätetään kokonaan tuotetiedon hallinnan ulkopuolelle. Kun valitettavasti tämä työ on laiminlyöty ja lisäksi useimmissa yrityksissä ei ole nimikkeiden hallinnasta vastuussa olevaa henkilöä, nimikkeiden määrä kasvaa hallitsemattomasti, mikä aiheuttaa tehottomuutta, turhaa työtä ja virheitä yrityksen operatiivisissa prosesseissa. [Peltonen et al. 2002, s. 45]

2.4.3 Tuoterakenteiden hallinta

Tuoterakenteet syntyvät luotaessa yhteyksiä erillisten nimikkeiden välille. Nimikkeitä koostetaan toisen nimikkeen alle, joka taas voidaan liittää kolmannen nimikkeen alle jne. Näin syntyy hierarkkinen järjestelmä, joka sitoo yksittäiset komponentit lopulliseen tuotteeseen. Peltonen et al. pitävät erilaisten rakenteiden hallintaa nimikehallinnan jälkeen tuotetiedonhallinnan tärkeimpänä ominaisuutena. Tärkeää on myös, että järjestelmään pystytään luomaan erilaisia rakennemalleja erilaisine attribuutteineen, jotta eri käyttäjät pystyvät luomaan tarvitsemiaan yhteyksiä eri komponenttien välille. Tärkeimpinä rakennemalleina Peltonen et al. pitävät seuraavia:

- **Osarakenne:** määrittelee, mistä osista tuote koostuu ja miten tuote karkealla tasolla kootaan ja valmistetaan. Yksinkertaisille tuotteille toimii samalla tuotantorakenteena.
- **Toimintorakenne:** havainnollistaa tuotteeseen valittujen toimintojen ja niitä toteuttavien osien yhteyksiä.
- **Sijaintirakenne:** kuvaa tuotteen osien sijaintiin perustuvan rakenteen.

PDM-järjestelmissä on myös eri tapoja esittää tuotteen rakenne. Näitä tapoja kutsutaan tuoterakenteen näkymiksi, joille Peltonen et al. esittävät kolme muotoa:

Moninäkymämenetelmällä tuotteen kullekin osalle luodaan erilainen esitys käyttötarkoituksesta riippuen. Tällöin osa voidaan jakaa esimerkiksi mekaniikan tai hydrauliikan komponenttien perusteella. Menetelmän ongelmaksi muodostuu ristiriita käyttötarkoituksien välillä. Tuotteen rakenne tulee kuitenkin olla samanlainen kaikissa näkymissä mutta sen riippuvuussuhteet eivät välttämättä toimi yksikäsitteisesti liikuttaessa käyttötarkoituksesta toiseen.

Toinen vaihtoehto on muodostaa tuotteelle yksi **geneerinen rakenne**, master-rakenne, josta suodatetaan kuhunkin näkymään halutut osat. Suodatusparametrit voidaan asettaa yhdistämällä yksittäisiin nimikkeisiin attribuutteja, jotka kertovat missä näkymissä ne halutaan näkyvän.

Kolmas vaihtoehto on muodostaa tuotteelle kokonaan **erillisiä rakenteita**, joissa tuote jaetaan aidosti erilaisiin osiin. Tämä on erittäin haasteellista, koska erilaisia näkymiä tarvitsevat osapuolet ovat kiinnostuneita tuotteesta erilaisissa kokonaisuuksissa. Esimerkiksi suunnittelun kannalta edulliset kokonaisuudet ovat muun muassa toiminnallisuutensa kautta toisiinsa liittyvät komponentit, kun taas tuotantoa kiinnostaa todellisuudessa asennettavat kokonaisuudet.

2.4.4 Muutoshallinta

Tuotteisiin liittyvissä tiedoissa tapahtuu jatkuvasti muutoksia. Nimikkeiden attribuutteja, osien kokoja ja kokoonpanojen komponentteja saatetaan muuttaa, ja samalla muuttuvat myös niiden dokumentit. Tuotetiedoissa tapahtuvien muutosten hallinta on tärkeää varsinkin yrityksissä, jossa tietoa on paljon ja sitä käyttää usea eri taho. Virheillä prosessissa voi olla laajoja seurauksia.

Nimikkeitä muutettaessa syntyy aina uusia versioita vanhoista nimikkeistä. Tässä yhteydessä käytetään termejä ”revisio” ja ”variantti”. On tärkeää erottaa toisistaan prosessiin liittyvät termit. Revisio syntyy muutettaessa nimikettä siten, että sen uusi versio korvaa vanhan version. Revisiolle on myös ominaista taaksepäin yhteensopivuus: uutta revisiota voidaan käyttää minkä tahansa vanhemman revision tilalla mutta ei välttämättä päinvastoin. Revision tuleekin noudattaa ns. fff-periaatetta (form, fit, function): sen muoto, yhteensopivuus ja toiminto on oltava korvattavan revision kanssa yhtäläiset. Esimerkkinä nimikkeen revisiosta voi olla siihen liittyvän dokumentin, kuten piirustuksen, tai kokoonpanon osaluettelon muuttaminen. Variantti edustaa nimikkeen vaihtoehtoisia, samankaltaisia mutta hieman toisistaan poikkeavia vaihtoehtoja. Kaikissa yrityksissä varianttia ei välttämättä käytetä tuotetiedon hallinnan terminä. Variantteja käytetäänkin tyypillisemmin konfiguroitavia tuotteita valmistavassa yrityksessä, jossa samaa tehtävää toteuttavalla komponentilla on vaihtoehtoisia

tyyppejä, esimerkiksi vesihydrauliikan venttiileille voi olla valittavissa normaalille ja merivedelle sopiva vaihtoehto. [Peltonen et al. 2002, s.32-40]

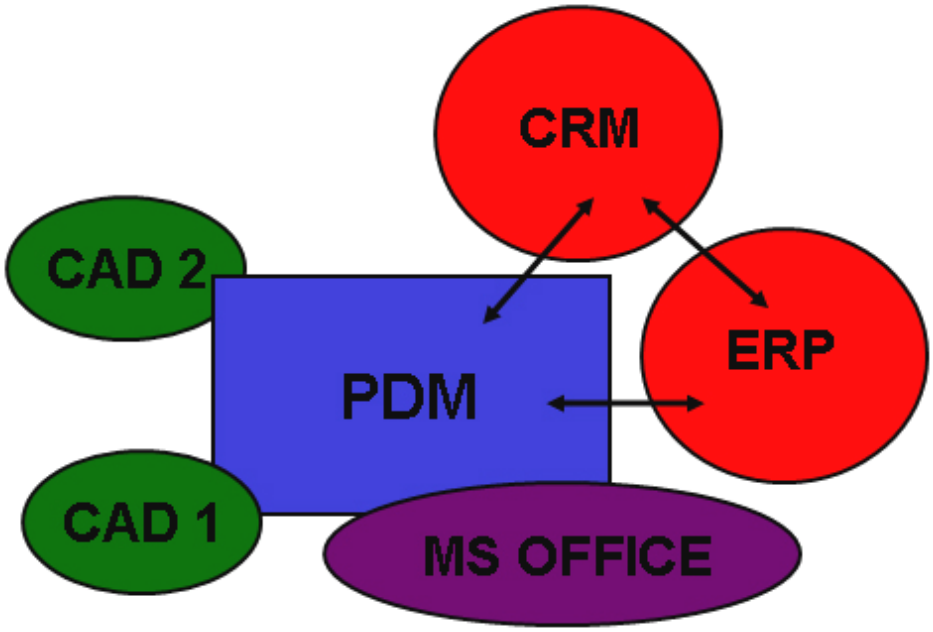
Tärkeä näkökulma muutoshallinnassa on myös muutosten kulun selkeys sekä muutosprosessin muoto. Varsinkin muuntuvien tuotteiden kanssa pitää muutosta tehdessä olla selvillä, koskeeko se tuoteyksilöä, - perhettä vai koko tarjontaa. Muutoksen liittyessä tuoteyksilöön voidaan käyttää yksinkertaista prosessia. Jos muutos kuitenkin liittyy useisiin tuoteyksilöihin tai on luonteeltaan perustavaa laatua, käytetään monivaiheista prosessia.

Muutosprosessilla on vaikutuksensa koko organisaation ilmapiiriin. Tapa tehdä kontrolloimattomia muutoksia johtaa helposti esimerkiksi suunnittelulaadun huononemiseen, koska se ruokkii ajattelutapaa ”en ehdi tarkistaa tätä nyt, teen muutoksen myöhemmin, jos on tarvis”. Tietty byrokratia muutosprosessissa paitsi parantaa tuotteiden laatua myös pienentää muutosten määrää. [Peltonen et al. 2002, s. 78]

2.4.5 Muut ohjelmistot tuotetiedon hallinnassa

PDM-järjestelmän lisäksi yrityksissä on käytössä useita muita ohjelmistoja ja tietojärjestelmiä. Suunnittelu käyttää CAD-ohjelmia, joilla tuotteet suunnitellaan virtuaalisesti sekä tuotetaan näiden valmistamiseen tarvittavat dokumentit. Tuotannon työvälineenä saatetaan käyttää erillisiä tuotannon- tai toiminnanohjausjärjestelmiä (ERP). Myynnin ja markkinoinnin apuna voidaan käyttää erilaisia myyntiohjelmistoja, joiden tärkeimpänä ominaisuutena varsinkin muunneltavia tuotteita myytäessä on myyntikonfiguraattori.

Integroitaessa yrityksen tietojärjestelmiä täytyy tehdä päätös, mikä ohjelmistoista toimii pääjärjestelmänä ja mitkä toimivat sen apujärjestelminä. Yleensä luonnollinen ratkaisu pääjärjestelmäksi on PDM-järjestelmä, mutta aina tämä ei ole mahdollista eikä järkevääkään. Ratkaisu on yrityskohtainen, ja se riippuu monista seikoista, kuten jo käytössä olevista ja uusista järjestelmistä, yrityksen tuotestrategiasta sekä toimintamalleista.



Kuva 2.16 *Esimerkki PDM-järjestelmän integroinnista muihin järjestelmiin. [mukaillen Sääksvuori & Immonen 2002, s.62]*

Keskeisimmässä asemassa järjestelmäintegraatiossa ovat CAD-ohjelmat ja ERP-järjestelmät. Yrityksellä saattaa olla käytössä erilaisia CAD-ohjelmia, jotka voivat olla joko 2D- tai 3D-suunnitteluun sekä eri suunnittelun aloille, kuten mekaniikka tai sähkö, erikoistuneita ohjelmistoja. Näiden roolit PDM-järjestelmän kanssa ovat kuitenkin selvät: PDM-järjestelmät hallinnoivat tietoa, jota CAD-ohjelmilla tuotetaan. Järjestelmät voivat olla täysin erillisiä, jolloin tiedonsiirto PDM-järjestelmään hoidetaan manuaalisesti. Toisaalta järjestelmät voivat olla täysin integroituja, jolloin suunnittelija ei tarvitse PDM:n käyttöliittymää, vaan tieto tuotetaan ja haetaan suoraan CAD:n käyttöliittymän kautta. [Sääksvuori & Immonen 2002] Jälkimmäisessä saattaa syntyä haasteita mallinnuskäytännön ja CAD-ohjelman ominaisuuksien kanssa. CAD-ohjelmien ominaisuudet vaihtelevat, ja joidenkin muotojen mallintaminen voi olla yhdellä ohjelmalla huomattavasti vaikeampaa kuin toisella. Tästä syystä joitain komponentteja saatetaan jättää mallintamatta.

Tuotetiedon hallinnan prosessien kehittämisen yhteydessä ja laajaan tietojärjestelmään investoitaessa ei saa kuitenkaan luulla, että uusi tietojärjestelmä poistaisi kaikki yrityksen sisäiset tuotehallintaan liittyvät ongelmat. PDM-projektin aikana liiketoiminnan prosessien määrätietoinen kehittäminen on ehdoton edellytys sille, että investointiin sijoitetut rahat tuottavat myös takaisin. [Sääksvuori & Immonen 2002, s. 177]

3 SOVELTAVA OSUUS

Tässä luvussa esitellään työn soveltava osuus, jonka päämääränä on luoda erilaisia vaihtoehtoja tulevaisuuden laitekannan tuoterakenteelle. Vertailun kautta valitaan yksi rakenne jatkotarkasteluun, jossa kolmelle tuoterakenteen moduulille tehdään rajapinta-analyysi sekä tutkitaan valitun tuoterakenteen ja suunnitteluympäristön yhdistämistä. Lopuksi tutkitaan uuden PDM-järjestelmän ominaisuuksia.

3.1 Nykyinen tuoterakenne

Kaivosjumbon ja tuotantoporauslaitteen tuoterakenne on ollut käytössä parin vuosikymmenen ajan. Ennen sitä valmistetut laitteet olivat hyvin pitkälle projektituotteita, joilla ei ollut vakioitua tuoterakenteen muotoa.

3.1.1 Tuoterakenteen kuvaus

Laitteiden tuoterakenteissa on tunnistettavissa sekä kokoonpano- että toimintomodulaarisuuden piirteitä. Suurin osa laitteen moduuleista on puhtaasti fyysisiä moduuleja. Seuraavassa on esitelty laitteiden tuoterakenteissa esiintyvät moduulit ja muutamia esimerkkejä kokoonpanoista ja komponenteista, joita ko. moduuli sisältää.

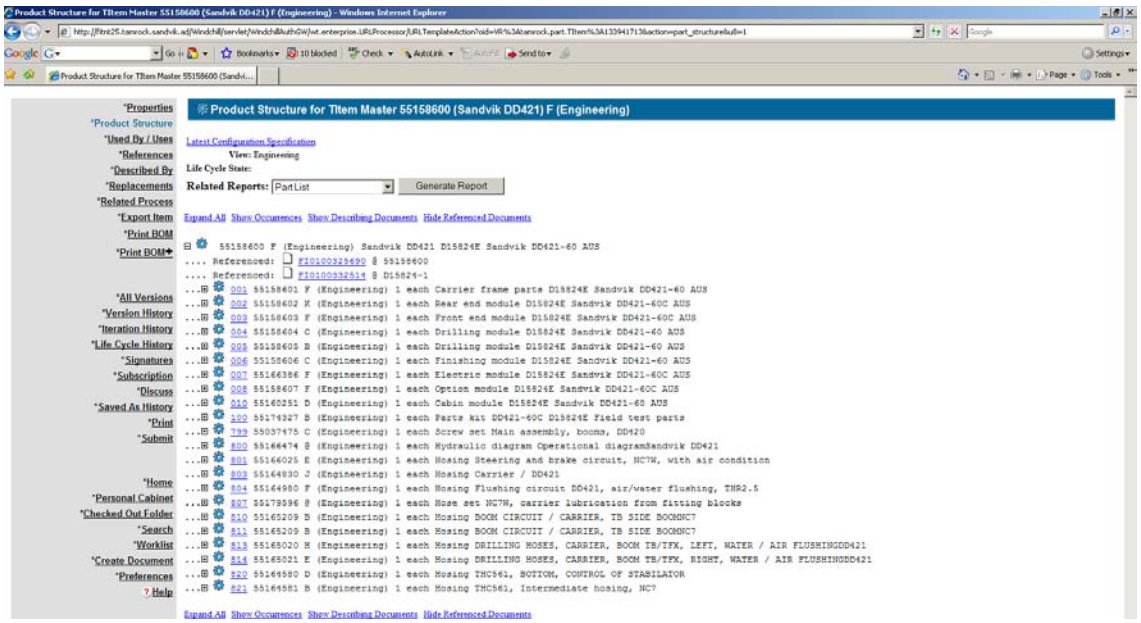
- alustan runko-osat (rungon osat, moottori, voimansiirto, pienet hydraulipumput)
- etumoduuli (puomien venttiilit, puomikannatin, maatukipalkki)
- takamoduuli (akku, vesikela, isot hydraulipumput)
- ohjaamomoduuli (turvakatoksen ajotaso ja katos tai ohjaamokoppi, poraus- ja huuhtelutoimintojen ohjauskeskus, laitteen ohjauspaneeli)
- porausmoduuli (porakone, syöttölaite, puomi)
- sähkömoduuli (laitteen sähköiset komponentit, ohjauspaneeli)
- viimeistelymoduuli (kyltit, tarrat, maalit, polttoaineet, öljyt)
- optiomoduuli (kaikki laitteeseen asennetut optiot)

Lisäksi rakenteessa on ylätasolle nostettuja kokoonpanoja ja erillisiä komponentteja. Niihin kuuluu laitteen hydrauliletkujen kokoonpanoja, puomien asennuksen ruuveja sekä toimintakaavioita. Laitteen letkut esitetään tuoterakenteessa omina kokoonpanoinaan, joiden piirustuksena toimivat hydraulikaaviot. Nämä käsittävät myös kokoonpanojen positionumeroinnin erilaisine vaihtoehtoineen; toisin sanoen yhteen kaavioon voi viivata useita letkukokoonpanoja.

Yllä oleva listaus on tehty kaivosjumbosta. Porausmoduuleita on tuoteyksilössä yleensä kaksi kappaletta. Tuotantoporauslaitteen tuoterakenteessa laitteen puomi ja sen toimintojen komponentit on erotettu omaksi moduulikseen. Puomimoduuli sisältää myös alustaan kiinnittyvän erillisen eturungon, jossa olevalla nivelellä kehikkotyyppinen puomi kiinnittyy alustaan. Normaalityyppisellä puomilla laitteen alustaan kiinnitetään maatukipalkki, jonka päälle asennetaan puomin kiinnitysnivel.

3.1.2 Tuoterakenteen hallinta ja ohjelmistot

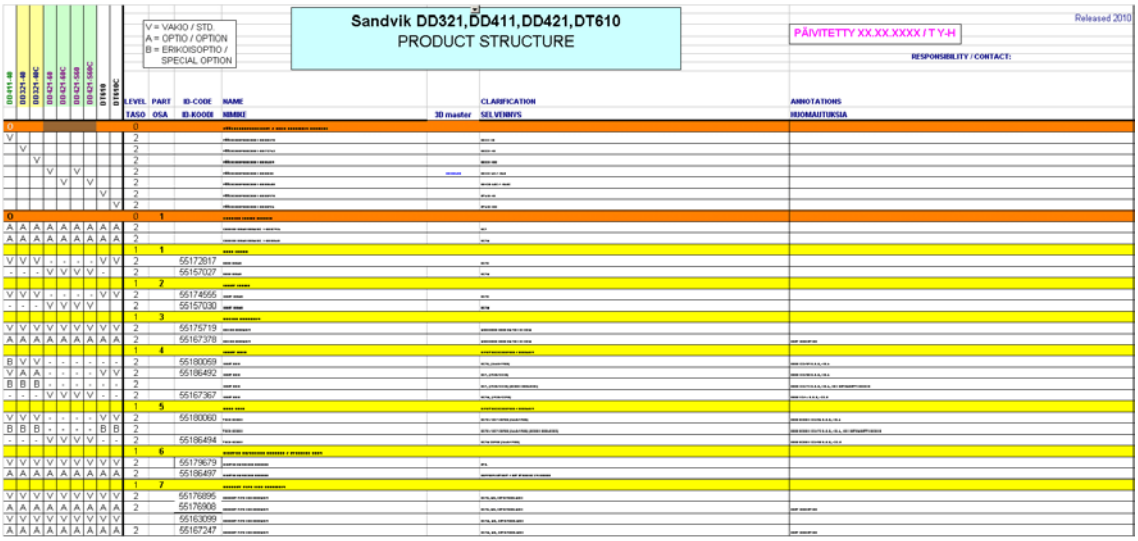
Yhtiön Tampereen tehtaalla on käytössä tuoterakenteiden hallinnassa kaksi tietojärjestelmää; Windchill sekä Teamcenter. Edellä mainittu on varsinainen PDM-järjestelmä, johon tallennetaan nimikkeinä laitteen komponentteja, osaluetteloita, moduuleja sekä valmistettujen laitteiden tuoterakenteita. Nimikkeisiin liittyviä dokumentteja, kuten asennus-, kokoonpano-, ja osapiirustuksia sekä hydrauli- ja sähkökaavioita, tallennetaan erillisiin dokumenttitiedostoihin, joihin viitataan kustakin nimikkeestä erillisellä linkillä. Teamcenter toimii Tampereen tehtaalla tällä hetkellä ainoastaan mekaniikkasuunnittelussa 3D CAD-ohjelman alustana, jossa kaikki malleissa olevat kokoonpanot muodostavat pienoisversion tuoterakenteesta. Näissä ei tosin ole huomioitu kuin juuri malleissa esiintyvät nimikkeet. Yhtiön sisällä sitä on käytetty tuotetiedon hallinnassa esimerkiksi Lahden tehtailla, ja Teamcenter tulee myös korvaamaan Windchillin Tampereen tehtaalla.



Kuva 3.1 *Laiteyksilön tuoterakenteen Windchill-näkymä.*

Windchillin lisäksi tuoterakenteiden hallinnassa käytetään MS Excel-pohjaista taulukkoa nimeltä ”Pylvänen”. Taulukossa on listattu laitetyypeittäin ja moduulikohtaisesti ne komponentit ja alikokoonpanot, joita tiettyyn laitteeseen voidaan asentaa. Se sisältää myös näiden osakokonaisuuksien eri variaatiot, joiden käyttöä

ohjataan taulukkoon kirjatuilla valintaehdoilla. Näin taulukko toimii manuaalisena konfiguraattorina.



Kuva 3.2 *Ote kaivosjumbon Pylväsestä. Moduulien nimitykset oranssilla, alikokoonpanot keltaisella ja alikokoonpanojen variaatiot valkoisella. [Sandvik 2011]*

Mikäli tilattu laite vastaa täysin jo ennalta määriteltyä laitetta, sen tuoterakenne kootaan Pylväsen perusteella (vrt. A-tuote). Mikäli myyntispesifikaatin perusteella tuoteyksilöön vaaditaan kokoonpano, jonka komponentit ovat olemassa mutta näistä koottua kokonaisuutta ei ole vielä tehty, tuoterakenne kootaan Pylväsen perusteella niin pitkälle kuin se on mahdollista, ja mekaniikkasuunnittelu tekee tarvittavan lisäsuunnittelun. Mikäli myytyä tuoteyksilöä ei ole mahdollista koota pelkän Pylväsen avulla, etenee tuoterakenteen tekeminen erikoistuoteprosessin (Special Order Request, SOR) kautta (vrt. C-tuote).

Vastaavanlaisia MS Excel-pohjaisia taulukoita on käytössä myös hydrauli- ja sähkösuunnittelussa, joita nämä myös itse ylläpitävät. Niihin on tallennettu ID-numerot jo valmistettujen laitteiden hydrauli- ja sähkökaavioista sekä niihin rakennetuista sähkömoduuleista. Tietueisiin on myös liitetty attribuutteina esimerkiksi kohdemaa sekä erilaiset toimintojen variaatiot, joita ko. laitteeseen on suunniteltu. Näin taulukoista pystytään helposti hakemaan kaavioita ja valmiita moduuleita käyttäen attribuutteja suodatusparametreina. Sähkömoduuli kootaan aina tilauskohtaisesti.

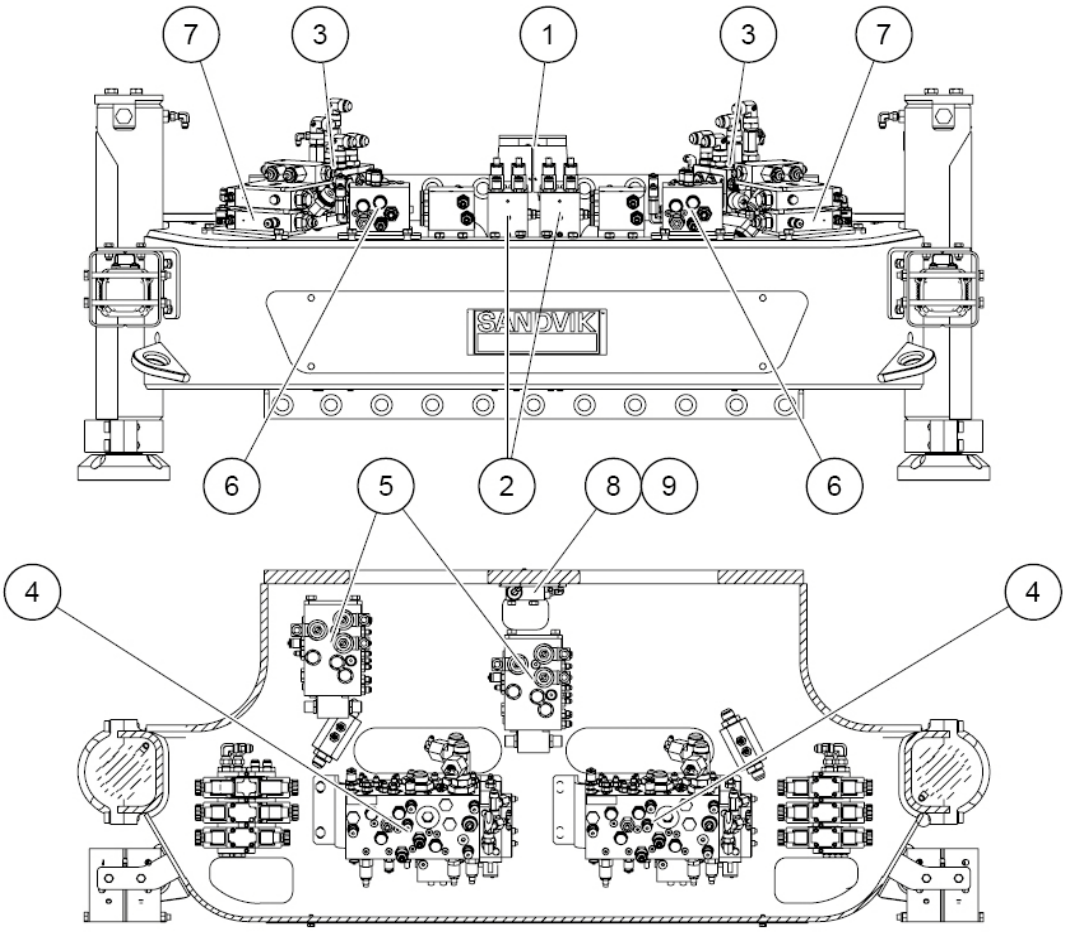
3.1.3 Tuoterakenteen analysointi

Nykyinen tuoterakenne on ollut käytössä parin vuosikymmenen ajan. Rakenteeseen on vuosien mittaan tehty muutoksia, muun muassa edellä mainittujen hydrauliletkukokoonpanojen tuominen rakenteen ylätasolle. Tämä on esimerkki muutoksista, jotka on jouduttu tekemään olosuhteiden pakosta. Nykyisellä PDM-järjestelmällä ei esimerkiksi pysty hakemaan tietyntyyppisiä komponentteja tai

alikokoonpanoja ID-numeron alta. Edellä mainittujen vieminen suoraan kokoonpanojen osaluetteloihin hankaloittaisi niiden hankintaa, sillä jokainen komponentti täytyisi manuaalisesti kaivaa rakenteesta esille.

Tarkasteltaessa laitteita modulaarisuuden kannalta niiden tuoterakenteet voidaan luokitella kokoonpanomodulaariseksi. Niissä on tunnistettavissa myös toiminnallisia kokonaisuuksia kuten esimerkiksi porausmoduuli. Se voidaan kokoonpanna yhdessä paikassa, ja sen toiminta voidaan myös testata ennen asentamista itse laitteeseen. Ohjaamomoduulissa olisi myös potentiaalia muokkautua itsenäiseksi toiminnalliseksi moduuliksi mutta nykyiset tekniset toteutukset eivät sitä täysin mahdollista. Moduulin rajapinnat laitteen muihin osiin eroavat ohjaamo- ja turvakatosversioissa, ja esimerkiksi porauksen ohjausjärjestelmä kuuluu tuoterakenteessa ohjaamomoduuliin. [Virtanen 2010]

Yhtiön linjaus on ohjannut tuoterakennetta palvelemaan tuotantoa muokkaamalla kokoonpanoja tukemaan laitteen asennusjärjestystä. Näin pystytään myös helposti määrittelemään kokoonpanopiirustusten tekeminen, sillä kokoonpanojen ID-numeroille tehtävät komponenttiluettelot sekä CAD:lla tehtävät piirustukset voidaan tehdä yhdenmukaisiksi. Tällainen kokoonpano on esimerkiksi kaivosjumbossa oleva maatukipalkin kokoonpano (kuva 3.3).



Kuva 3.3 *Kaivosjumbon maatukipalkki ja siihen sijoitetut venttiilit. Porakoneen toiminnot numerot 1-6 ja huuhtelun venttiilit numero 7. [Sandvik 2011]*

Toiminnallisesti se on hitsattu ja koneistettu komponentti, joka toimii etumaatukien kehtona, ja siihen asennetaan erilaisia venttiileitä ja valoja. Tuoterakenteessa maatukipalkki kuitenkin käsittää itse koneistetun komponentin ja maatukien lisäksi muun muassa huuhtelun venttiileitä ja valoasennuksia. Tuoterakenteessa tämä johtaa suureen määrään kokoonpanovaihtoehtoja, sillä sitä varioivat laitteen runkoleveyden lisäksi huuhtelutavat sekä komponenttien tyyppejä määrittelevät vaihtoehdot kuten merivedenkestävyys.

Nykyinen tuoterakenne on sinällään toimiva ratkaisu yhtiön tarpeisiin. Sitä on vuosien saatossa muokattu erilaisten tarpeiden mukaan. Siinä on kuitenkin muutamia selkeitä heikkouksia:

Laiteyksilöiden konfigurointi on tällä hetkellä Pylväseen kirjattujen sanallisten rajoitusehtojen varassa. Kun laitteen valmistusrakennetta tehdään myyntispesifikaatin perusteella, laitetuntemus ei ole täysin välttämätöntä; ennemmin tietämystä tarvitaan itse Pylväsen systematiikasta, jotta kaikki laitteeseen tarvittavat osat tulevat valituiksi. Konfiguroinnin haasteita ovat useat ristikkäiset vaikutukset rakenteissa, kuten ylätason

valintojen vaikutus syville alatasoille ja päinvastoin. Tämä ei myöskään rajoitu pelkästään moduulien sisälle vaan jotkut valinnat vaikuttavat myös muiden moduulien alarakenteissa: esimerkiksi valittaessa laitteeseen ohjaamoa tai turvakatosta niiden kiinnitystavat runkoon, jotka esiintyvät rungon teräsosien alakokoonpanoina, ovat erilaiset. Myös moduulien alakokoonpanoiksi laitetut kokonaisuudet vaikuttavat muiden moduulien ylätason valintoihin, mistä esimerkkinä on edellä mainittu maatukipalkin kokoonpano.

Tuoterakenteen systematiikassa on paljon epäloogisuuksia laitteen eri osien välillä. Alun perin pääosin tuotannon tarpeita silmällä pitäen tehtyä rakennetta on sittemmin muokattu muiden rakennetta hyödyntävien osapuolten toiveiden ja vaatimusten mukaisesti. Näin on tahattomasti syntynyt rakenteen osia, joissa systematiikkaa ohjaavat muut kuin sen alkuperäiset syyt. Alihankittavat kokoonpanot, kuten ohjaamo, synnyttävät tällaisia muutospaineita. Ohjaamot esiintyvät tuoterakenteessa varusteltuina mutta niihin asennettavia komponentteja, kuten laitteen ohjauspaneeli, hankitaan erikseen. Ohjauspaneeli on siirretty osaksi sähkömoduulia, koska se varioituu pääosin sähkösuunnittelun vuoksi. Yleisesti hallitsemattomat muutokset ja ”suunnittelukurin” höltyminen ovat johtaneet systematiikan hajoamiseen, ja se vaikeuttaa laitteen ylläpitosuunnittelua.

Laitteiden varioituvuus tuo tuoterakenteelle monenlaisia haasteita. Perusteltua varioituvuutta liittyy laitteen keskeisten toimintojen asiakaskohtaiseen räätälöintiin, kuten syöttölaitteiden pituuksissa. Kuitenkin laitteissa löytyy varioituvuutta, jolle ei juuri löydy perusteluita kuten eri laitetyyppien välinen komponenttitason vaihtelu, vaikka sillä ei ole toiminnallista merkitystä. Tuoterakenteeseen on myös vuosien saatossa lisätty optioita, joita on alun perin suunniteltu B-tuotetilauksiin. Tällöin tuoterakenne on täyttynyt variaatioista, joita ei välttämättä edes aktiivisesti tarjota asiakkaille. Edellä mainitut asiat eivät ole kaivosjumbo DD421:ssä enää niin selvästi nähtävissä kuin vanhemmassa DD420:ssa. Komponenttitasolla on pyritty hakemaan yhteneväisyyksiä ja systematiikkaa yhdenmukaistamaan. B-tilauksista johtuvaa varioituvuutta laitteella ei kuitenkaan ole oikeastaan vain siksi, että laitetyyppiä ei ole vielä tehty monelle asiakkaalle, ja asiakaskyselyistä johtuvaa vartioituvuutta ei ole vielä ehtinyt syntyä. Tuoterakenteeseen suuri varioituvuus heijastuu sen syvyyden ja varioituvuuden syy-seuraussuhteiden ristikkäisyyksien kautta. Syvällä rakenteessa tapahtuvat komponenttien tai kokoonpanojen muutokset heijastuvat aina ylöspäin johtaen muutoksiin pahimmassa tapauksessa jokaisella välitasolla. Varioituvuuden syy-seuraussuhteet hämärtyvät helposti kokoonpanoperusteisessa tuoterakenteessa, kun asiakaskohtaisista valinnoista johtuvat ominaisuudet jakautuvat laitteiden layoutin perusteella. Tästä syystä joillekin kokoonpanoille on jouduttu geneerisessä rakenteessa varaamaan suuri määrä erilaisia ID-koodeja, vaikka niiden varioituvuus ei johtuisikaan ko. kokoonpanon ominaisuuksien muuttumisesta (vrt. maatukipalkki).

3.2 Eri toimijoiden haastattelut

Työn aikana haastateltiin tuoterakenteen tiimoilta sitä laitteen tilaus-toimitusketjussa käyttäviä toimijoita. Tuotelinja edusti markkinoiden ja myynnin näkökulmaa. Suunnittelusta haastateltiin jokaista osastoa erikseen, koska suunnittelun sisälläkin on erilaisia tarpeita tuoterakenteesta. Suunnittelusta haastateltiin erikseen uus- ja nykytuote-, hydrauliikka-, automaatio- ja sähkösuunnittelu. Tuotannon edustajilta saatiin näkemystä tuoterakenteen merkityksestä laitteiden kokoamisessa. Hankinnalta saatiin tietoa laitteisiin ostettavista komponenteista ja niiden merkityksestä tuoterakenteelle. Jälkimarkkinoinnilla on kaivosporalaitteiden markkinoimisessa suuri merkitys, sillä asiakkaat odottavat hyvää palvelua myös itse laitteen ostamisen jälkeen. Varaosamyynti ja tuotetuki muodostavatkin merkittävän osan myytyjen laitteiden elinkaaresta. Haastatteluissa pyrittiin saamaan selville jokaisen osapuolen oma näkemys nykyisen tuoterakenteen toimivuudesta ja siitä, miten tuoterakennetta tulisi tulevaisuudessa kehittää. Lisäksi haluttiin selvittää, mitkä ovat kunkin toimijan vaatimukset tuoterakenteelle, oli sen muoto minkälainen tahansa.

3.2.1 Tuotelinja

Tuotelinjan päälliköt ja myyntihenkilöt toimivat yhteytenä asiakkaan ja laitteen suunnittelun välillä. Heillä on paras käsitys asiakkaiden toiveista, ja he ovatkin viime kädessä vastuussa tuoterakenteen sisällöstä laitteiden ominaisuuksien osalta. Tuotelinja ei työssään suoranaisesti tarvitse itse tuoterakennetta. Tuotelinjalle on melko yhdentekevää, miten tuoterakenne on koottu. Sille on tärkeintä, että tuoterakennetta käyttämällä syntyy oikeanlaisia tuotteita oikeaan aikaan oikeille asiakkaille. Toki tuoterakenteen ymmärtäminen on tuotelinjan työn kannalta hyödyllistä, sillä se tuottaa informaatiota tuotelinjan käyttämille myynnin työkaluille. Myös tuotetarjonnan muuttamisen kannalta tuoterakenteen ymmärtäminen sekä erityisesti erilaisten muutosten vaikutukset kustannusten ja työmäärän suhteen

3.2.2 Suunnittelu

Suunnittelu haastateltiin edellä mainituissa osissa. Näistä mekaniikkasuunnittelu on eniten tekemisissä tuoterakenteen kanssa, sillä sen vastuulla on koota kaikkien myytyjen laitteiden rakenteet sekä ylläpitää niitä. Muut suunnittelun osapuolet tuottavat sisältöä tuoterakenteeseen luoden esimerkiksi uusia nimikkeitä.

Uustuotesuunnittelu (NPD, New Product Design) on vastuussa uusien laitteiden fyysisestä ja tuoterakenteiden suunnittelusta. He vastaavat uusista tuotetarjontaan suunniteltavista laitteista ja niihin liitettävien ominaisuuksien suunnittelusta 0-sarjaan asti, jonka jälkeen tuote siirtyy nykytuotesuunnittelun vastuulle.

Nykytuotesuunnittelun (CPE, Current Product Engineering) työkenttä koostuu nykyisin myytävien laitteiden ylläpidosta. Sen työtä hidastaa laitteiden suuri varioituvuus ja niiden mallintaminen 3D CAD:lla. Nykytuotesuunnittelulle onkin tärkeää tuotteen jakautuminen helposti ylläpidettäviin osakokonaisuuksiin, joita voitaisiin päivittää mahdollisimman itsenäisesti, ja jotka mahdollisesti jakautuisivat myös kaikkiin laitetyyppeihin. Tällöin muutoksen tekeminen yhteen laitetyyppiin muuttaisi sen automaattisesti kaikkiin muihin ilman, että siitä syntyisi eri laitteille erilaisia kerrannaisvaikutuksia.

Hydrauliikkasuunnittelu on ”ulkoistanut” paljon työtä esimerkiksi mekaniikkasuunnittelulle. Hydrauliikassa suunnitellaan pääosin eri toimintojen teknistä toteutusta, mutta esimerkiksi suuri osa laitteen layout-suunnittelusta jätetään mekaniikkasuunnittelulle. Tehdyt dokumentit, kuten piirikaaviot, ovat kummankin ylläpidon alla mutta niiden sijoittelu tuoterakenteeseen on mekaniikkasuunnittelun vastuulla.

Automaatiosuunnittelun yhtenä ongelmana on niin sanottujen ei-fyysisten kokonaisuuksien eli ohjelmistojen sijoittelu rakenteeseen. Varsinkin kaivoskokoluokassa suuri osa laitteiden toimintojen ohjauksesta on toteutettu perinteisillä logiikkaratkaisuilla. Niiden sisältämien ohjelmistojen ylläpitoa hankaloittaa ohjelmistojen ja fyysisten logiikkojen liittäminen samoiksi kokonaisuuksiksi tuoterakenteessa, jolloin ohjelmistomuutokset saattavat aiheuttaa pitkiä revisioketjuja.

Sähkösuunnittelu kokoaa jokaisen laitteen sähkömoduulin erikseen tilauskohtaisesti. Tämä on nykyisillä teknisillä toteutuksilla todettu toimivaksi ratkaisuksi. Laitteissa on joka tapauksessa paljon sähköisistä toiminnoista johtuvaa varioituvuutta. Näin ollen sähkömoduulista on olemassa niin monta teoreettista vaihtoehtoa, että tilauskohtainen suunnittelu toteutuu helpommin kuin jokaisen mahdollisen variantin ennalta määrittely. Erillinen sähkömoduuli tuoterakenteessa toimii sähkösuunnittelun kannalta hyvin, koska laitteen kaikki sähköön liittyvät kokonaisuudet löytyvät yhdestä paikasta ja niitä on helppo hallinnoida. Sähkösuunnittelijat näkivät esimerkiksi toiminnallisen tuoterakenteen ongelmalliseksi ylläpidon kannalta, sillä tämän hetkisellä teknisellä toteutuksella sähkö vaikuttaa laitteessa monessa toiminnossa ja myös useat komponentit ovat osa useaa eri toimintoa. Tosin nykyisen sähkömoduulin hajottaminen ei ole täysin poissuljettu mahdollisuus, sillä sen komponenttien jakaminen voisi jopa yksinkertaistaa suunnittelu- ja ylläpitotyötä, koska toistensa takia varioituvat osat voitaisiin koota omiksi kokonaisuuksikseen.

3.2.3 Hankinta

Organisaatiollisesti hankinta on yhtiötasolla erittäin laaja kokonaisuus mutta laitteiden valmistuksen kannalta se jakautuu kahteen erilliseen osaan, projektihankintaan sekä tuotannon yhteydessä tapahtuvaan hankintaan. Jälkimmäinen on jatkuvaa, tuotannon

tilanteesta riippuvaa hankintaa, ja se onkin pääosin tuotannonohjaajien vastuulla. Projektihankinnassa tuoterakennetta käytetään lähinnä tiedonhankintaan.

Oman haasteensa tuoterakenteeseen hankinnan kannalta tuovat alihankkijoilta ostettavat valmiit kokoonpanot: alihankkijoiden oma tuoterakenne ja sen systematiikka on tyypillisesti luotu alihankkijan tarpeita ajatellen. Alihankittavissa kokonaisuuksissa voi olla mukana joitain komponentteja, joita valmistaja ei ole ajatellut esimerkiksi varaosiksi, kun taas Sandvikin mielestä ne kuuluvat yhtiön jälkimarkkinoinnin piiriin ja taas päinvastoin. Tällaisten ongelmien takia alihankkijoiden rakenteiden suora kopiointi ei ole aina mahdollista, mikä aiheuttaa ylimääräistä työtä.

Hankinnan kannalta tuoterakenteen tärkeimpänä ominaisuutena on tuotetiedon nopea löydettävyys. Erityisen tärkeää on tieto nimikkeiden käyttöasteesta, esimerkiksi onko ko. nimike aktiivisessa käytössä nykyisissä laitteissa vai onko se poistumassa käytöstä.

3.2.4 Tuotanto

Tärkeitä tuoterakenteen ominaisuuksia tuotannon kannalta ovat mahdollisimman suuret osakokonaisuudet loppukokoonpanossa, niiden kokoonpantavuus sekä testattavuus. Tuotanto perustuu soluajatteluun, eli tuotannon linjalla on esivalmistelusoluja, joissa kootaan laitteeseen tulevia osakokonaisuuksia, jotka lopulta asennetaan itse laitteeseen. Soluissa valmistettavat on pystyttävä kokoomaan mahdollisimman suuria kokonaisuuksia, jotka ovat kuitenkin vielä asennettavissa loppukokoonpanossa. Kyky testata moduulien toimintoja ennen loppukokoonpanoa vähentää asennus- ja suunnitteluvirheistä johtuvien vikojen kerääntymistä. Pahimmassa tapauksessa ne ovat havaittavissa vasta aivan kokoonpanon lopussa, jossa niiden korjaaminen saattaa aiheuttaa paljon ylimääräistä työtä. Tämän hetkisessä tuoterakenteessa testattavuuden kriteerin täyttävät ainoastaan poraus- ja koripuomimoduuli.

Tuotannossa haluttaisiin päästä eroon geneerisistä nimikkeistä eli moduuleista ja kokoonpanoista, joilla on jo olemassa oleva vakiomuotonsa mutta niille otetaan tilauskohtaisesti oma ID-numero. Tähän käytäntöön on syynä lähinnä laitteiden suuri varioituminen. Nykymuodossaan eri moduuleista on olemassa niin monta erilaista vaihtoehtoa, että työmäärän kannalta on käytännössä sama luodaanko niille tilauskohtaisesti uusi koodi vai määritelläänkö etukäteen iso joukko moduuleita (vrt. luku 3.2.2 sähkösuunnittelu). Geneeristen ID-koodien käyttöä on perusteltu myös jäljitettävyydellä: jo myytyihin laitteisiin saatetaan vielä valmistuksen jälkeen lisätä erilaisia ominaisuuksia jälkiasennuksina. Tällöin on jäljitettävyyden takia helpompaa luoda moduuleille omat ID-numerot, joita voidaan päivittää muuttamatta tuoterakenteen perusmallia.

Tuoterakenteella on Tampereen tehtaalla tuotannolle kuitenkin vain välillinen vaikutus. Laitteen tullessa tuotantoon sille tehdään sen tuoterakenteesta vaihemalli, jossa eri

kokoonpanot ohjataan niitä kullakin ajanhetkenä tarvitseville tuotantosoluille. Tämä työvaihe joudutaan tekemään joka tapauksessa, oli tuoterakenne minkälainen tahansa. Tuotannon kannalta ideaalitilanne olisi, että vaihemalli vastaisi tuoterakenteen jaottelua, jolloin eri tuotannon vaiheille ohjattavia kokoonpanoja ei tarvitsisi etsiä erikseen muista kokoonpanoista.

3.2.5 Jälkimarkkinointi

Laitteiden jälkimarkkinointi on merkittävä osa laitekaupoista. Pääasiassa jälkimarkkinoinnin toimenkuvasta on varaosakauppaa sekä erillisten jälkiasennussarjojen myymistä. Heidän kannaltaan on tärkeää, että asiakkaat löytävät tarvitsemansa komponentit laitteen mukana toimitettavasta varaosakirjasta. Tässäkin on silti paljon asiakaskohtaisia eroja. Asiakas, jolle laitetyyppi on ennestään tuttu, osaa tyypillisesti yhdistää komponentin johonkin toimintoon tai muuhun isompaan kokonaisuuteen, jota kautta hän löytää tarvitsemansa varaosakirjasta. Asiakas, jolle laite on uudempi, yrittää jäljittää rikkoutunutta komponentteja sen fyysisen sijainnin perusteella. Työtä helpottaisi myös laitteiden tuoterakenteiden ja layouttien samankaltaisuus.

Varaosakirjaa ajatellen tuoterakenteessa pitäisi suosia pieniä kokoonpanoja, joista syntyy selkeitä asennuskuvia. Myös valmistajatiedon löydettävyys on heille tärkeää. Tuoterakenteen nimikkeen pitäisi myös sisältää tieto osan kriittisyydestä laitteen toiminnan kannalta, sillä tämä tieto ohjaa toimitusprosessia priorisoimalla kriittisempien komponenttien toimittamista ja varastoon hankkimista.

Nimikkeiden luomisvaiheessa eräänlainen pakotusvalinta poistaisi monia virhemahdollisuuksia varsinkin varaosiksi tarkoitetuissa nimikkeissä. Mikäli nimike merkitään luomisvaiheessa varaosaksi, sen attribuutteihin pääsee täyttämään vain ennalta määrätyt tiedot. Virheet nimikkeiden luomisessa vaikeuttavat myös varaosakirjojen tekemistä, sillä niiden tarvitsemat tiedot kopioituvat tiettyjen parametrien avulla automaattisesti PDM-järjestelmästä varaosakirjoihin.

3.3 Tuoterakennevaihtoehdot

Tässä työssä päädyttiin esittelemään kolme vaihtoehtoa tulevaisuuden laitteiden tuoterakenteiksi. Ne on muodostettu pääosin siksi, että ne ovat esimerkkejä kolmesta erityyppisistä rakenteista.

3.3.1 Määrittelyehdot tuoterakenteille

Ennen tuoterakennevaihtoehtojen muodostamista määriteltiin ehdot, jotka niiden tulee täyttää. Työn rajauksissa jo mainittiin, että tuoterakenteen tulee sopia sekä kaivosjumbolle että tuotantoporauslaitteelle vähintään niiltä osin, kuin laitteen

pääapplikaatioiden erot sen sallivat. Tämän lisäksi määriteltiin, että tuoterakenteissa käytetään laitetyypistä riippumatta yhdenmukaisia nimityksiä samankaltaisille kokonaisuuksille.

3.3.2 Tuoterakennesystematiikka

Esitellyille tuoterakenteille luotiin työn alussa karkea systematiikka. Mikäli systematiikka eroaa jonkin rakenteen kohdalla tässä kuvaillusta, esitellään se erikseen kunkin rakenteen kohdalla.

- Tuoterakenteessa pyritään pienentämään osakokonaisuuksia, joiden dokumentteja käytetään sellaisenaan esimerkiksi varaosakirjoissa.
- Tuoterakenteesta pyritään tekemään ennemmin leveä kuin syvä. Laitteiden varioituva luonne korostuu entisestään rakenteella, jossa tapahtuu muutoksia syvällä rakennepuussa. Tämä on jossain määrin ristiriidassa edellisen kohdan kanssa, sillä osien kokoaminen pienempiin kokonaisuuksiin johtaa joissain tilanteissa väistämättä tuoterakenteiden syvenemiseen. Tätä voidaan toisaalta kompensoida leventämällä tuoterakenteen päätasoa.
- Tuoterakenteesta voidaan luoda erilaisia näkymiä eri toimijoiden käyttöön suodattamalla.

Työn kuluessa systematiikkaa tarkennettiin käytännön testauksen perusteella. Jatkokehittelyyn valitulle rakenteelle esiteltiin lopulta oma systematiikka.

3.3.3 Nykyinen tuoterakenne pienin muutoksin

Ensimmäinen vaihtoehto on nykyisen tuoterakenteen käytön jatkaminen pienin muutoksin. Nytkin tehtävät muutokset ovat lähinnä kosmeettisia, ja niillä halutaan vain puuttua niihin epäkohtiin, jotka ovat muodostuneet olosuhteiden pakottamina. Tärkeä näkökulma nykyrakenteen ottamisessa mukaan arviointiin on selkeän vertailukohdan antaminen; kaksi muuta vaihtoehtoa eroavat sekä muodoltaan että jakoperusteiltaan nykyisestä rakenteesta. Jotta näiden hyödyt ja haitat nykyiseen ratkaisuun nähden tulisivat selkeästi esille, on niille tarjottava aito vertailupohja. Tästä syystä tähän vaihtoehtoon ei myöskään sovelleta luvussa 3.3.2 esiteltyä tuoterakenteen systematiikkaa.

Nykyisin laitteen päämoduulitasolla olevat komponentit ja kokoonpanot laitetaan takaisin niihin moduuleihin, joihin ne liittyvät. Hydrauliletkukokoonpanot jaetaan sijaintinsa perusteella, esimerkiksi alustassa olevat porauksen letkut siirretään alustan runko-osiin ja pääkomponenttien ruuvit, jotka tarkoittavat puomien kiinnityspultteja puomikannattimeen, lisätään porausmoduuliin.

3.3.4 Toiminnallinen rakenne

Toinen vaihtoehto tuoterakenteelle on jakaa päämoduulit toiminnallisin perustein. Työssä tutkituissa laitteissa tämä jako osoittautui melko hankalaksi, sillä laitteista löytyy useita toiminnallisia ristikkäisyyksiä eli samoja toimintoja toteuttivat monet tahot. Tämä osiltaan vaikutti myös moduulien lukumäärään, sillä toiminnallisten riippumattomuuksien löytämiseksi laite piti jakaa päämoduulitasolla pienempiin kokonaisuuksiin.

Moduulijaossa käytettiin hyväksi luvun 1.4 esittelyä laitteista. Pääasiallisina jakoperusteina toimivat toiminnallisuus, varioituvuuden rajaaminen sekä asiakaskohtaisten ominaisuuksien esilletuonti. Täydelliseen toiminnalliseen riippumattomuuteen ei kuitenkaan esitellyllä tuoterakenteella päästä. Esimerkiksi sähköiset toiminnot luovat paljon varioituvuutta sähköpääkeskukseen sekä lukumäärällään että aluekohtaisilla määräyksillään. Asiakaskohtaisista ominaisuuksista huuhtelu haluttiin tuoda esille omana kokonaisuutenaan, koska se koetaan porakoneen ja ohjaamon ohella yhdeksi keskeisimmistä asiakkaita kiinnostavista ominaisuuksista.

Kuva 3.4 *Toiminnallisen rakenteen moduulikartta.*

Nykyisen tuoterakenteen *alustan runko-osat* jaetaan pienempiin osiin. Toiminnallisen rakenteen *ALUSTA* käsittää etu- ja takarungon sekä etu- ja takamaatuet. *VOIMANSIIRTO*-moduulin muodostavat moottori, polttoainetankki, pakoputkisto sekä

moottorin ilmanotto. *ALUSTAN OHJAUS*-moduulin tehtävänä on laitteen ohjaus liikkeessä, ja se käsittää rungon ohjaussylinterit sekä jarrut. Vanhan tuoterakenteen porausmoduuli on jaettu kahteen osaan, *PORAUS*- ja *PORAUKSEN TUKI*-moduulin. Toiminnallinen *PORAUS*-moduuli käsittää porakoneen ja syöttölaitteen. *PORAUKSEN TUKI*-moduuli, joka tuotantoporauslaitteessa käsittää nykyisen rakenteen puomimoduulin, pitää kaivosjumbossa sisällään puomikokoonpanon ja kannattimen. *ALUSTA*- ja *PORAUKSEN TUKI*-moduuleilla halutaan myös ohjata tulevaisuuden laitteiden suunnittelua käsittelemään kaivosjumbon ja tuotantoporauslaitteen runkoa samankaltaisena, jopa identtisenä osana puuttumatta kuitenkaan niiden tekniseen toteutukseen. *PORAUSTOIMINTOJEN OHJAUS* vastaa nykyistä porauksen ohjauskeskusta. *VOIMAYKSIKKÖ*-moduuli on nykyinen powerpack, johon on lisätty sen sähkömoottori. *PORAUKSEN HUUHTELU* on uudentyyppinen moduuli, jossa esitetään laitteen huuhteluun liittyvät komponentit vedenotosta vesipumpun kautta huuhteluventtiileille. Moduulille on olemassa kolme vaihtoehtoa huuhtelutapojen mukaan. *KOMPRESSORI*-moduuli sisältää kompressorin kokoonpanon moottoreineen. *ULKOPUOLINEN SÄHKÖ*-moduuli sisältää sähkökaapelikelan sekä voimavirtakaapelin. *SÄHKÖPÄÄKESKUS*-moduuli käsittää sähkökaapin sekä sieltä lähtevien toimilaitteiden sähköjen liitännät. *OHJAAMO/TURVAKATOS*-moduuli käsittää nykyisen moduulin ilman ohjauskeskusta, ja siihen lisätään porraskoteloiden teräsosat sekä moduulin kiinnikkeet runkoon ja puomikannattimeen. *LAITTEEN VOITELU*-moduuli sisältää laitteen rasvaukseen tarvittavat osat eli pumpun, letkut sekä rasvanipat. *NISKANVOITELU*-moduuli sisältää porakoneen niskanvoitelun säiliön kannattimineen, ilmalinjan vedenerottimen sekä toimintoon liittyvät letkut. Muut moduulit ovat listattuja optioita, jotka sisältävät kaikki niiden tarvitsemat komponentit. Tällä toteutetaan teoriaosuudessa esiteltyä valintamodulaarisuutta (luku 2.2.1), jolla halutaan lisätä mahdollisuuksia vakioitujen ID-koodien käyttöön moduulitasolla leventämällä tuoterakennetta.

Kuvan 3.4 moduulikarttaan on merkitty väreillä erityyppiset moduulit. Sinisellä ja vihreällä jokaiseen laiteyksilöön tulevat, niin sanotut pakolliset moduulit, ja vihreällä on erotettu ne moduuleista, joita voi laiteyksilössä olla enemmän kuin yksi, esimerkiksi *PORAUSTOIMINTOJEN OHJAUS* - sekä *VOIMAYKSIKKÖ* -moduuleita on laiteyksilön tuoterakenteessa yhtä monta kuin *PORAUS* -moduuleita. Optioista punaisella on merkitty pelkästään kaivosjumbolle, keltaisella pelkästään tuotantoporauslaitteelle mahdolliset optiot ja harmaalla molemmille laitteille yhteiset optiot.

3.3.5 Yhdistelmärakenne

Kolmas vaihtoehto yhdistelee kahden ensimmäisen rakenteen ominaisuuksia. Vaihtoehdosta voidaan erottaa sekä fyysisiä että toiminnallisia kokonaisuuksia. Selkein ero on laitteisiin tulevien optioiden sijoittaminen. Ne optioista, jotka voidaan käsittää päämoduulin määrittelyn perusteella kuuluvan ko. moduuliin, sijoitetaan ko. moduuliin

vakioidulle rivinumerolle, mikäli ne valitaan myytävään tuoteyksilöön. Uutena moduulina on *TOIMILAITE*-moduuli, johon kootaan ne laiteyksilöön asennettavat optiot, joita ei sijoitella päämoduulien alle. Ne ovat luonteeltaan yksittäisiä ja erillisiä toimintoja, kuten saappaanpesin ja nosturi. Kuvan 3.5 moduulikartassa siniset moduulit ovat tuoteyksilössä kerran ja vihreät yhden tai useamman kerran esiintyviä pakkomoduuleita.

Kuva 3.5 *Yhdistelmärakenteen moduulikartta.*

Toinen keskeinen omaleimaisuus yhdistelmärakenteessa on *ALUSTA*, joka on yhdistää toiminnallisen rakenteen alustan, tähän liittyvät toiminnot eli alustan ohjauksen, sähkön ja voimayksikön, muista moduuleista ajovoimantuoton ja voimansiirron sekä erillisenä komponenttina puomikannattimen. Tällä halutaan luoda tuoterakenteelle muoto, jossa alusta toimii kaikkien laiteyksilöiden perustana ja muiden moduulien liityntäpisteenä. Laitteiden puomi on omana moduulinaan. *VOIMAYKSIKKÖ*-moduuliin on lisätty hydraulisäiliö. Porakoneen niskanvoitelu on sisällytetty *VOITELU*-moduuliin.

3.4 Tuoterakenteiden vertailu

Edelle esitellyille tuoterakennevaihtoehdoille suoritettiin arvoanalyysi, jossa jokainen tuoterakenne arvioitiin erilaisten kriteerien perusteella. Kriteereinä olivat hallinta ja ylläpidettävyys, soveltuvuus eri toimijoille, suunnitteluympäristön ja tuoterakenteen yhdistäminen sekä soveltuvuus nykyisille teknisille ratkaisuille.

Tuoterakenteen kannalta tärkeimpänä kriteerinä voidaan pitää sen hallintaa ja ylläpidettävyyttä. Tämä kriteeri on monisyinen, ja siihen vaikuttavat muutkin syyt kuin

pelkkä tuoterakenteen muoto. Näistä tärkeimpänä on selkeiden ohjeiden ja säännöstöjen kehittäminen tuoterakenteen koostamiselle. Ylläpidettävyyden kannalta tuoterakenteen muodon tulisi noudatella toiminnallisuuksien ja elinkaariajattelun jakoa.

Tuoterakenteen soveltuvuudessa eri toimijoille annettiin ensin yhteinen painokerroin, joka jaettiin eri toimijoiden kesken. Suunnittelun saama kerroin on miltei puolet kaikista osapuolista. Suunnittelu on vastuussa tuoterakenteiden tekemisestä ja hallitsemisesta, joten heidän työnsä sujumisen kannalta tuoterakenteen muoto on tärkeää. Tuotannon ja jälkimarkkinoinnin osuus on verrattain iso ja samansuuruinen, koska he ovat muista toimijoista ne, joiden työn kannalta tuoterakenteen muodolla on merkitystä. Hankinnalle ja tuotelinjalle tuoterakenne edustaa suuremmassa määrin tiedonhakupaikkaa, ja heidän tarpeisiinsa tuoterakenteen suhteen voidaan ottaa kantaa muilla tavoin kuin tuoterakenteen muodolla.

Suunnitteluympäristön ja tuoterakenteen yhdistämisellä arvioitiin käytännössä tuoterakenteeseen luotavien kokonaisuuksien suunnittelua ja käsittelemistä suoraan suunnittelutyökaluilla. Näitä ovat esimerkiksi mekaniikkasuunnittelun 3D-suunnitteluohjelma NX ja 2D-suunnitteluohjelma Vertex. Suurin merkitys tällä kriteerillä on nimenomaan mekaniikkasuunnittelun käyttämä 3D-ohjelmaan, jonka rajoitukset vaikuttavat eniten tämän kriteerin toteutumiseen. 2D-ohjelmien kohdalla merkitys jää vähäisemmäksi, mikäli niiden käyttöä jatketaan nykyisellä tavalla, eli ne ovat PDM-järjestelmästä irrallisia, ja niiden tuottamaa tietoa siirretään ainoastaan yhdensuuntaisesti.

Nykyisten teknisten ratkaisuiden soveltuvuudella haluttiin vertailla teknisten ratkaisujen sopivuutta eri tuoterakenteille. Nykyisistä laitteista löytyy paljon ratkaisuja, joita ei suoraan voida käyttää hyväksi toiminnallisessa ja yhdistelmärakenteessa. Tällä kriteerillä on myös mahdollista arvioida lisätyömäärää, jota uuden tuoterakenteen käyttöönotto mahdollisesti toisi mukanaan. Sen painoarvo ei kuitenkaan ole suuri, sillä tämän kriteerin ei haluta olevan ratkaisevana tekijänä suunniteltaessa tulevaisuuden tuoterakenteiden muotoa, sillä vielä ei ole tehty lopullisia päätöksiä tulevaisuuden laitteiden teknisistä ratkaisuista.

Taulukko 3.1 Tuoterakennevaihtoehtojen arvoanalyysi.
(1: nykyrakenne, 2: toiminnallinen, 3: yhdistelmä)

KRITEERIT	PAINOKERROIN	1	2	3
Rakenteiden hallinta ja ylläpito	0.40	6	9	8
Soveltuvuus eri toimijoille	0.30			
- tuotelinja	*0.02*	6	9	8
- suunnittelu	*0.13*	6	9	8
- hankinta	*0.06*	8	7	8
- tuotanto	*0.03*	8	8	7
- jälkimarkkinointi	*0.06*	8	6	8
Tuoterakenteen ja suunnittelu-ympäristön yhdistäminen	0.2	7	8	9
Soveltuvuus nykyisille teknisille ratkaisuille	0.1	8	6	7
YHTEENSÄ	**1.0**	**6,70**	**8,29**	**8,07**

Tuoterakenteen ylläpitoa hankaloittaa nykyisessä tuoterakenteessa pirstoutuneisuus. Eri toimintojen komponentteja löytyy useasta eri paikasta ja myös syvällä tuoterakenteessa. Jakamalla tuoterakenne enemmän toiminnalliseen suuntaan joko puhtaasti toiminnallisesti tai yhdistelmärakenteen mukaan voidaan paremmin tuoda esille komponentteja ylläpitomielessä.

Tuoterakenteiden soveltuvuudessa eri toimijoille on selkeästi nähtävissä eroavaisuuksia. Nykyinen rakenne toimii parhaiten niille toimijoille, joiden toiveiden mukaan se on aikanaan tehty ja myöhemmin muovattu eli tuotannolle, hankinnalle ja jälkimarkkinoinnille. Toiminnallisessa rakenteessa taas tulevat esille sitä pääosin hallinnoivien toimijoiden vaatimukset, mistä kertoo suunnittelun hyvät pisteet. Yhdistelmärakenne on tässä suhteessa melko neutraali, sillä sen ominaisuuksien voidaan katsoa soveltuvat melko hyvin jokaiselle toimijalle.

Suunnitteluympäristön yhteensovittaminen tuoterakenteiden kanssa on tällä hetkellä alkutekijöissään, sillä nämä kaksi ovat erillään toisistaan. Nykyisellä rakenteella esimerkiksi 3D-suunnittelu johtaa varioituviin isoihin kokoonpanoihin, joiden käsittely on kankeaa. Toiminnallisessa rakenteessa varioitumista pystytään jakamaan useisiin pieniin kokonaisuuksiin sekä on-off -tyyppisillä moduuleilla. Toiminnallisten kokonaisuuksien kuvaamisen haasteena on kokoonpanojen sijainti, sillä toiminnallisen rakenteen luonteen mukaisesti niiden sijoittelemiselle ei anneta tiukkoja määräyksiä. Yhdistelmärakennetta ei rajoita toiminnallisuuden määritelmät, joten se mahdollistaa myös layout-suunnittelun ohjaamisen tuoterakenteen avulla. Tällöin kokoonpanojen sijoittelu voidaan tehdä myös suunnittelutyökaluille edullisemmin.

Vertailtaessa tuoterakennevaihtoehtoja nykyisille teknisille ratkaisuille sopiviksi huomattiin kuinka tuoterakenne on muotoutunut nykyisten ratkaisuiden mukaisiksi. Toiminnallisen jaon kannalta hankalaksi osoittautuvia ovat muuan muassa useat telineet, joihin on asennettu toiminnallisessa mielessä eri kokonaisuuksiin kuuluvia asioita. Nykyiselle rakenteelle erilaiset asennussarjat ja -telineet eivät ole ongelmallisia, sillä kokoonpanomodulaarisessa rakenteessa niiden käyttöä tuoterakenteessa ohjaa lähinnä sijainti. Nykyisestä ja yhdistelmärakenteesta löytyy paljon samankaltaisuuksia, joten edellä mainittu ongelma ei ole niin suuri kuin toiminnallisella rakenteella.

Arvoanalyysin perusteella parhaaksi vaihtoehdoksi muodostui toiminnallinen rakenne. Se sai korkeat pisteet erityisesti paremman hallittavuutensa ja ylläpidettävyytensä ansiosta. Yhdistelmärakenne sai tasaisesti pisteitä kaikista kriteereistä mutta ei ollut merkittävästi parempi yhdelläkään osa-alueella. Nykyisen rakenteen heikko hallittavuus laskivat sen pisteitä.

3.5 Valitun tuoterakenteen jatkokehittely

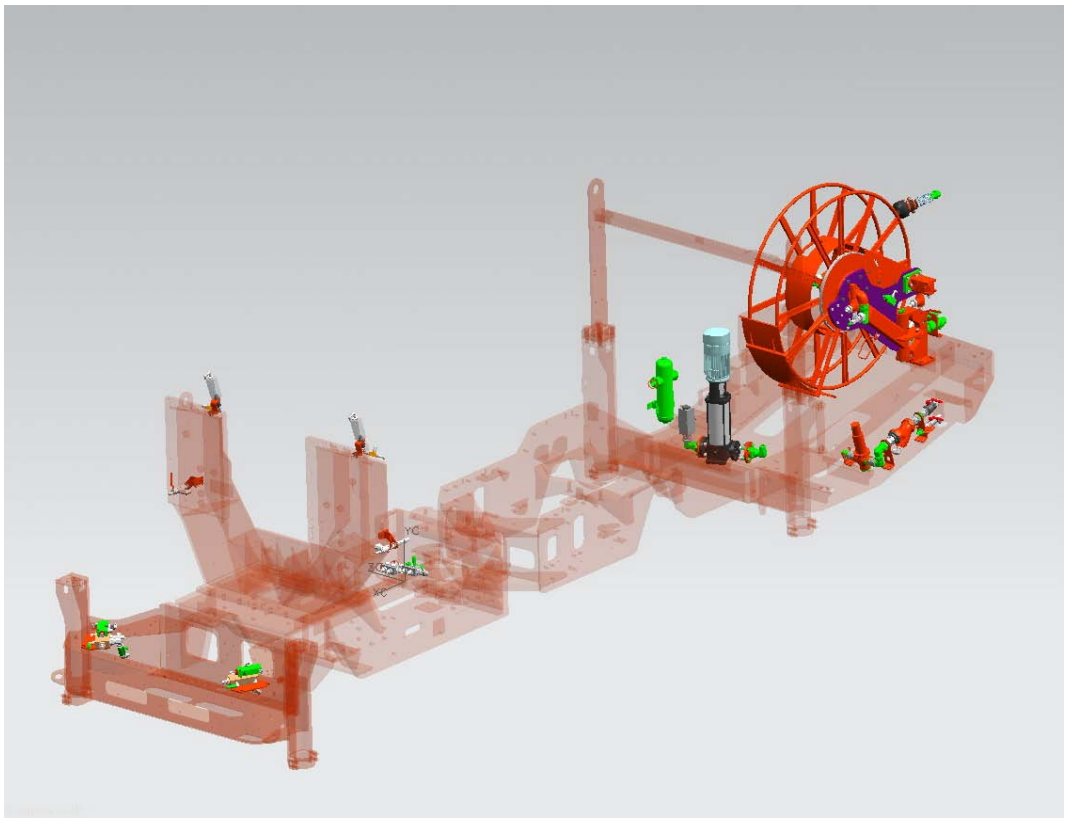
Toiminnallisen tuoterakenteen jatkokehittelyssä tehtiin rajapinta-analyysi keskeisimmille moduuleille sekä tutkittiin suunnittelun ja valitun tuoterakenteen muodon yhteensopivuutta. Tämä on erityisen tärkeää, sillä Tampereen tehtaalla käyttöönotettava PDM-järjestelmä toimii samalla myös 3D CAD-ohjelman alustana, jolloin 3D-mallien tiedot siirtyvät myös PDM-järjestelmään.

3.5.1 Rajapinta-analyysi

Toiminnalliselle tuoterakenteelle koottiin rajapintatiedot kolmesta moduulista. Tarkasteluun valittiin kaivosjumbon porauksen huuhtelu-, alusta- ja porausmoduuli. Pahl & Beitzin määritelmistä poiketen energiavuo ilmoitetaan tehona, joka on yhteenlaskettu hydraulisesta, sähköisestä sekä ilman että veden tehosta. Rajapintatietojen keräämisen teki haastavaksi yhtiön toiminnan historia, sillä tämänkaltaista tuotetutkimusta ei tiettävästi ole maanalaisilla kaivosporalaitteille ennen tehty. Analyysiä tehtäessä kuitenkin havaittiin, että tietoa on olemassa. Esimerkiksi hydraulisista toiminnoista, kuten porauksesta, löytyy hyvinkin yksityiskohtaista tietoa tarvittavista öljymääristä ja painetasoista. Tietojen keruuvaiheessa huomattiin myös, että laitteen toiminnan eri vaiheet vaikuttavat merkittävästi rajapinnan suureisiin. Oman ulottuvuutensa tuo myös toimintojen eri variaatiot, jotka kasvattavat määriteltyjen moduulien rajapintasuureiden ääriarvoja. Näin tulosten ilmoittamisen yhteydessä jouduttiinkin tarkkaan rajaamaan moduulin tila ja variaatio, jolla tieto on koottu.

Porauksen huuhtelu-moduulin tiedot kuvaavat tilannetta, jossa asiakas on valinnut kaksoishuuhtelun, eli porausreiän huuhtelun sekä porauksen aikana vedellä että porauksen jälkeen ilmalla. Oletuksena on myös suurin mahdollinen ilmankulutus, eli koko kompressorin tuottama ilma käytetään yhden porausyksikön toimintaan. Puutteena

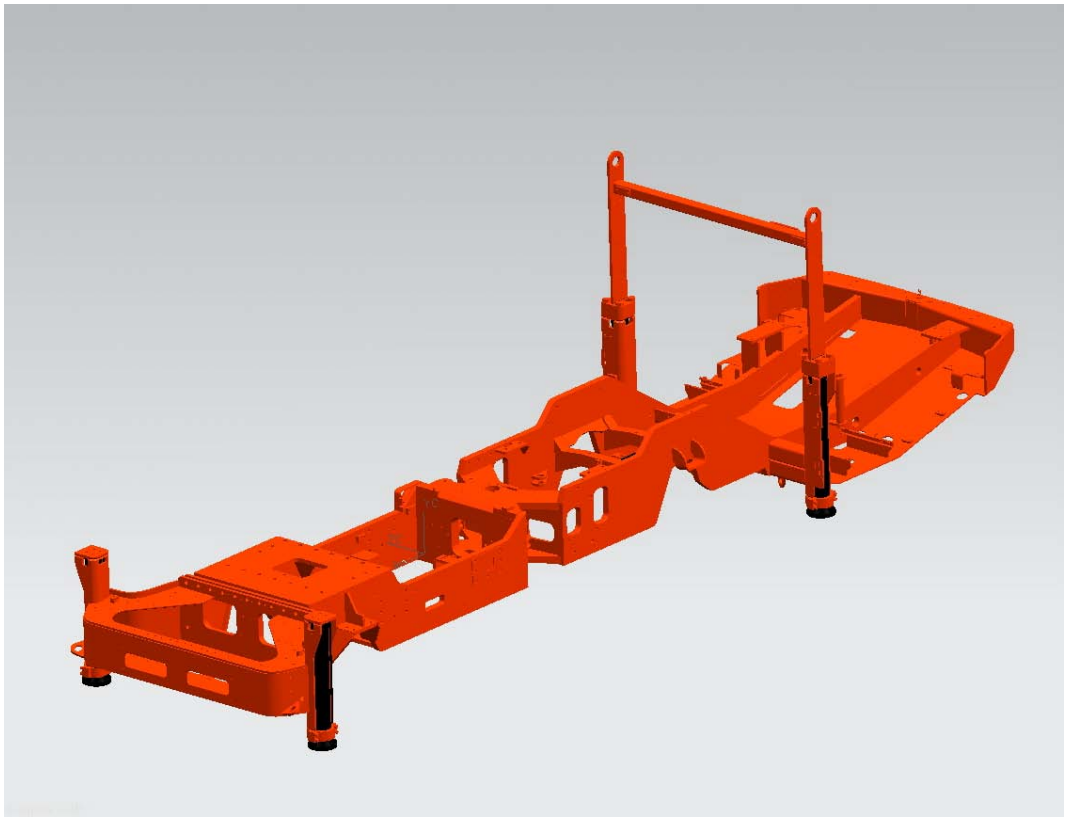
tiedoissa on öljy. Öljykulutus muodostuu poraustoimintojen ohjaus-moduulin (nykyinen hydraulinen ohjauskeskus) kautta huuhtelun venttiileille tulevasta tilavuusvirrasta, jota käytetään venttiilien ohjaamiseen. Ohjauskeskuksesta lähtevien ohjausvirtausten suureita ei ole selvitetty, joten rajapintatiedot moduulille jäävät siltä osin vajavaisiksi.



Kuva 3.6 *Porauksen huuhtelu-moduulin komponentteja.*

Kuva 3.7 *Porauksen huuhtelu-moduulin rajapintojen vuot.*

Alusta on rajapintatietojen perusteella helpoiten määriteltävissä oleva. Sen suureina ovat maatukien käyttämä öljy sekä näitä ohjaavien venttiilien sähkö.



Kuva 3.8 *Alusta-moduulin komponentteja.*

Kuva 3.9 *Alusta-moduulin rajapintojen vuot.*

Poraus-moduulin tiedot ovat huuhtelun tavoin riippuvaisia toiminnan vaiheesta. Rajapintatiedoissa ovat poraustoimintojen maksimiarvot. Kuvassa 3.11 on tähdellä eriteltynä myös moduulin läpi kulkeva, sen toimintaan vaikuttamaton vuo eli huuhtelun vesi ja ilma tehona ja materiaalina.

Kuva 3.10 *Poraus-moduulin komponentteja.*

Kuva 3.11 *Poraus-moduulin rajapintojen vuot.*

3.5.2 Tuoterakenteen ja suunnitteluympäristön yhdistäminen

Pääasiassa tuoterakenteen ja suunnitteluympäristön yhdistäminen kulminoituu 3D CAD-ohjelmaan, jolla tuotetaan komponenttien ja kokoonpanojen 3D-mallit sekä tarvittavat piirustukset. Tämän lisäksi sähkö- ja hydrauliikkasuunnittelulla on omat 2D-ohjelmistonsa, joista tietoa siirretään PDM-järjestelmään piirustuksina. Tulevaisuudessa edellytyksenä olisi, että tuoterakenteen ja suunnitteluympäristössä luotavien mallien tulisi vastata toisiaan. Tärkein ratkaistava kysymys on, mille tuoterakenteen nimikkeistä luodaan 3D-mallit. Suurimpana haasteena mallintamiselle ovat hydrauliletkut, joiden

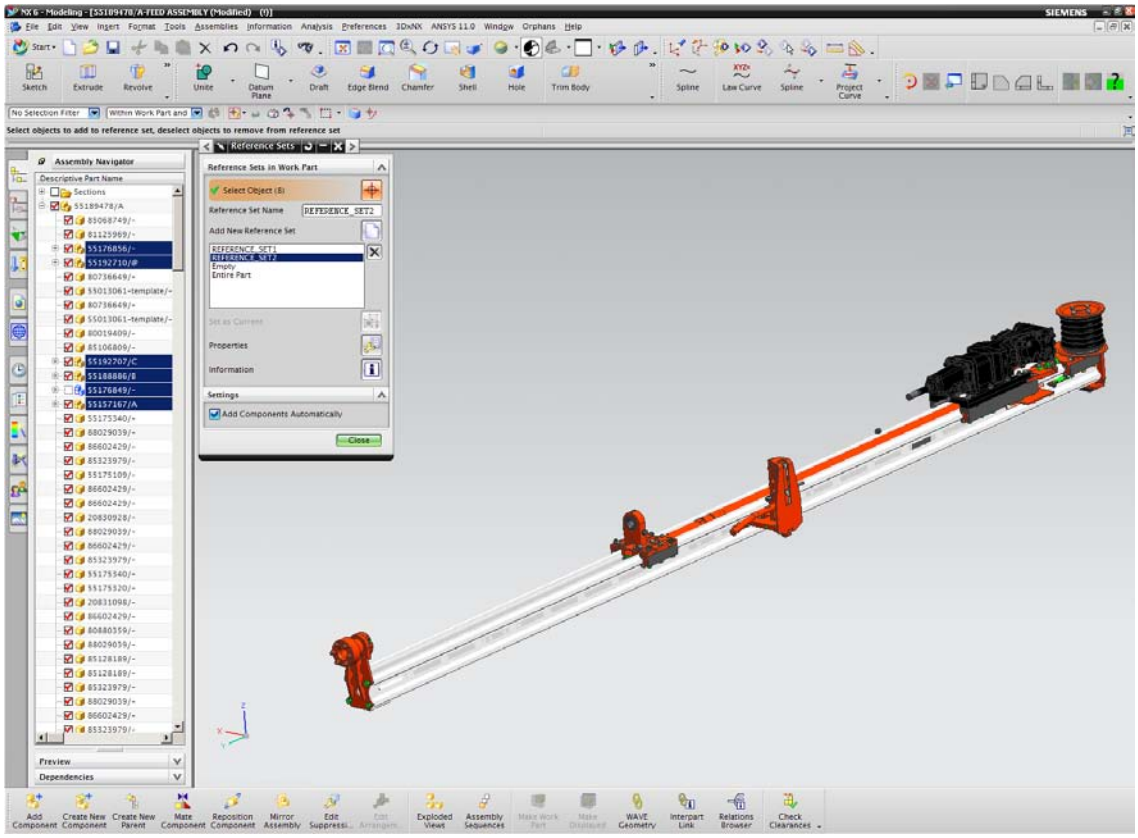
muoto muuttuu laitteen eri osien liikkuessa toistensa suhteen. Tällä hetkellä laitteiden hydrauliletkuja ei mallinneta, sillä nykyinen 3D CAD-ohjelma ei tähän tyydyttävällä tasolla kykene.

Joidenkin nimikkeiden mallintamatta jättäminen ei ole ristiriidassa yhteensovittamisen periaatteen kanssa. Kaikki PDM:n nimikkeet eivät ole fyysisiä kappaleita, joita voisi mallintaa. Luodut mallit vastaisivat tuoterakenteiden nimikkeiden tietoja, mutta valikoivalla mallinnuksella kaikilla nimikkeille ei välttämättä luoda mallia. Mikäli tuoterakenteita konfiguroitaessa syntyy nimike, jolla ei ole mallia, syntyy ko. nimikkeen ylempään malliin ainoastaan tyhjä malli: se näkyy NX:n mallipuussa mutta ei sisällä lainkaan geometriaa.

Laitteen moduulitason mallintamiseen on kolme vaihtoehtoa.

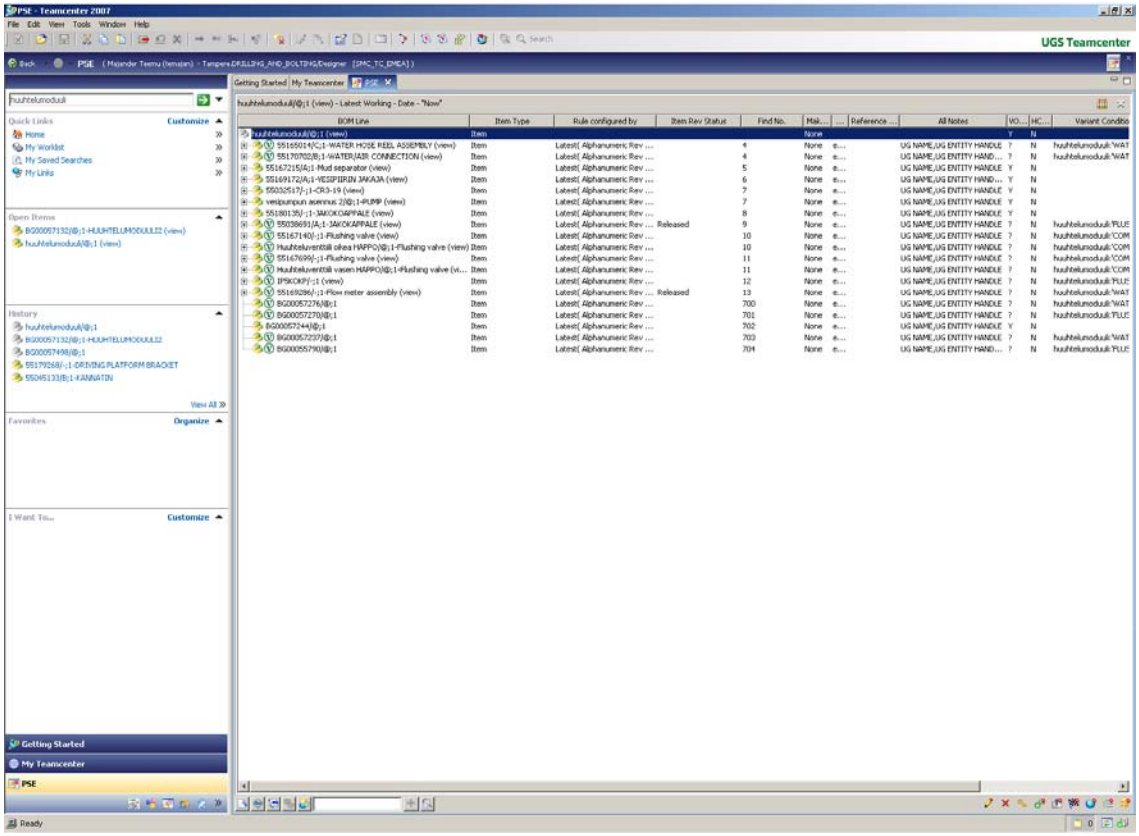
- Moduuleista luodaan geneerisiä 3D-malleja, joiden vaihtoehtoja halitaan 3D CAD:n *Reference set*-, *Layer*- ja *Suppression*-asetuksilla
- Moduuleista luodaan geneerisiä 3D malleja, joiden vaihtoehtoja hallitaan PDM:n avulla
- Moduulien jokaisesta vaihtoehdosta luodaan oma malli

Ensimmäisellä tavalla suunnittelija voi toimia yhden mallin kanssa ja hallita sitä pelkästään 3D CAD:lla. *Reference set*-, *Layer*- ja *Suppression*-asetuksilla on mahdollista hallita mallissa kulloinkin ladattavia ja näkyvillä olevia komponentteja. Tapa ei ole kovin luotettava, sillä 3D CAD:n version muuttuessa näiden asetusten on havaittu usein rikkoutuvan. Ajan myötä mallien päivittäminen käy yhä työläämmäksi.



Kuva 3.12 *Esimerkki Reference set-asetusten käytöstä. Reference set 2:een valitut komponentit maalattuina.*

Geneerisiä rakenteita voidaan tehdä joko suoraan 3D CAD-ohjelmalla tai PDM:n puolella. Rakenteisiin lisätään moduulin komponentit sekä niiden mahdolliset variantit samoille riveille. Menetelmä on käytännöllinen käsiteltäessä isokokoisia malleja. Niitä ei välttämättä tarvitse avata kokonaan vaan mallin koon voi hallita PDM:n puolella ennen kuin sitä avataan 3D CAD:lla. Menetelmällä tosin syntyy verrattain - riippuen moduulien kokonaismäärästä - suurikokoisia malleja. Mallien hallinta joudutaan hoitamaan Teamcenterin kautta, mikä saattaa hankaloittaa mallien tarkastelua.



Kuva 3.13 *Esimerkki geneerisen mallin rakenteesta PDM:ssä. V-kirjain rivin alussa merkitsee nimikettä, jolle on olemassa variantti.*

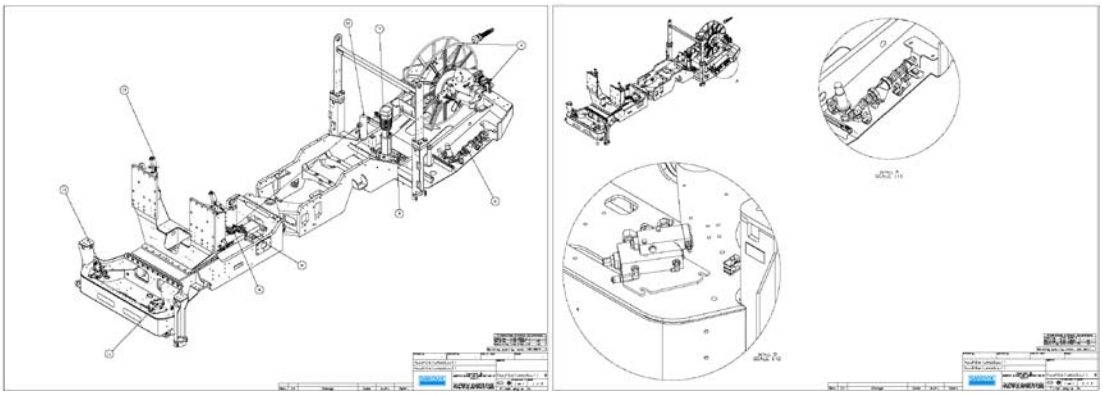
Kolmas menetelmä on mallintamisen kannalta selkein vaihtoehto. Tällöin jokainen tietyn nimikkeen alta 3D CAD:ssa avattavat malli vastaa suoraan tuoterakenteen muotoa ilman ohjelman sisäistä tai ulkopuolista konfigurointia. Yksittäinen malli ei myöskään muodostu isoksi, sillä se pitää sisällään ainoastaan ne komponentit, joita ko. vaihtoehto vaatii. Tämä kuitenkin johtaa suureen määrään malleja. Muutoshallinta muodostuu myös hankalaksi sillä sellaisen muutoksen, jolla on vaikutuksia saman moduulin useaan vaihtoehtoon, vaatii kaikkien vaihtoehtomallien päivittämisen.

Kolmesta esitellystä vaihtoehdosta parhaiten tulevaisuuden tarpeisiin sopii vaihtoehto kaksi. Mikäli PDM-järjestelmän ominaisuuksia halutaan käyttää laajamittaisesti hyväksi, esimerkiksi konfiguraattorin muodossa, on 3D-mallinnuskäytännön myös tuettava sitä. Moduulitason mallien ollessa luonteeltaan geneerisiä voidaan myös hallita laitteiden suurta varioituvuutta.

Tuoterakenteen muoto vaikuttaa myös suunnittelutyöhön. Moduulit eivät enää välttämättä kuvaa jotain fyysistä kokonaisuutta, jolloin sen mallin avulla ei nähdä tarkasti komponenttien koko ympäristöä. Tehdäkseen muutoksia kokoonpanoihin suunnittelijan täytyy pitää samalla hetkellä pitää auki useita moduuleita jotta hän näkee todellisen tilanteen. Nykyisen tuoterakenteen mukaan tehdyillä moduuleilla saa nopeasti kuvan reaalimaailman tilanteesta. Tosin mitään suunnittelumuutoksia ei nytkään

laitteisiin tehdä ilman todellisen laitteen tutkimista, joten yksittäisen komponentin fyysistä ympäristöä täydellisesti esittäville malleille ei ole tarvetta.

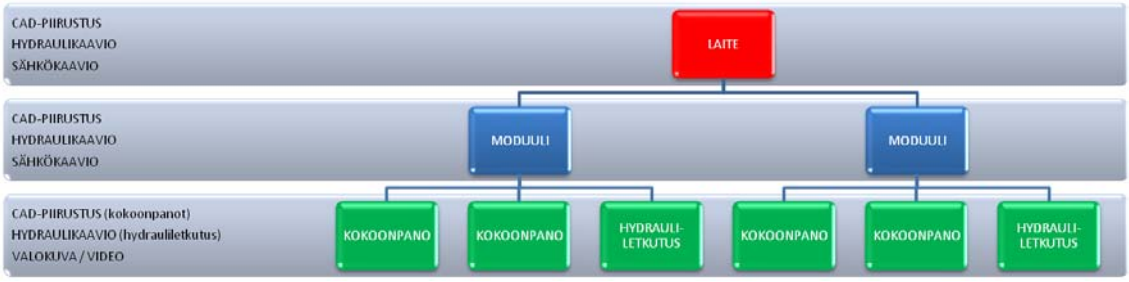
Toiminnallinen tuoterakenne toi haasteita erityisesti piirustusten tekemiseen. Valitun rakenteen luonteeseen kuuluu, että moduulien komponentit saattavat sijaita hajallaan pitkin laitetta. Siinä on myös enemmän moduuleita, mikä kasvattaa piirustusten määrää. Tosin johtuen suuremmasta moduulien määrästä niissä on vähemmän komponentteja ja niistä syntyvät piirustukset ovat selkeämpiä. Moduulien komponenttien sijaitessa hajallaan on silti mahdollista, että piirustusarkin rajallisen koon pakottaman etäisen kuvannon vuoksi komponenttien asennus jää tulkinnanvaraiseksi. Tätä pystytään helpottamaan tekemällä monilehtisiä piirustuksia. Yhtenä vaihtoehtona on toteuttaa piirustukset samalla tekniikalla kuin tähänkin asti. Tämä on myös varteenotettava vaihtoehto, sillä tämänhetkiselläkin layout-suunnittelulla uuden tuoterakenteen moduulien komponentit sijaitsevat suhteellisen lähellä toisiaan, joten hajanaisuudesta aiheutuvaa piirustusten epätarkkuutta ei juuri synny.



Kuva 3.14 *Esimerkki moduulin monilehtisestä piirustuksesta.*

Monilehtipiirtämisen voidaan katsoa lisäävän suunnittelun työmäärää, jos ajatellaan jokaisen piirustuksen alalehden vastaavan aina yhtä normaalia piirustusta. Toisaalta, tuoterakenteen luonteen vuoksi moduulien 3D-mallit ovat kevyempiä kuin nykyisellä tavalla tuotetut, jolloin myös piirustusten latautumisajat ovat lyhyempiä. Karkeasti voidaan arvioida, että mikäli nykyisellä rakenteella tuotetaan 3D-malleja kuudesta päämoduulista ja uudella rakenteella 20:sta, ero tasoittuu sillä, että jokainen uuden rakenteen moduuli on samassa suhteessa kuusi kertaa pienempi kuin ennen. Huomioitavaa on myös, että piirustusten teossa itse 3D-mallin rakentaminen on aikaa vievin työvaihe, joten lisäpiirustuksien tekeminen samasta mallista on suhteessa nopeampaa kuin yhden piirustuksen tekeminen yhdestä mallista.

Asentamisen kuvaamisen vaikeus perustuu lähinnä tuoterakenteen uuteen muotoon, missä osakokonaisuudet eivät aina vastaa asennettavia kokonaisuuksia. Työn luvussa 3.6.1 esitellään vaihtoehtoinen ratkaisu tähän ongelmaan, joka käyttää hyväkseen Teamcenterin moninäkymäsovelluksia.



Kuva 3.15 *Tuoterakenteen systematiikka. Vasemmalla kunkin tason referensseinä olevat dokumentit.*

Työssä päädyttiin esittämään kuvan 3.15 mukaista systematiikkaa tuoterakenteelle. Suurimpana eroavaisuutena nykyiseen käytäntöön on sähkökaavioiden tuonti moduulitasolle ja jokaiselle moduulille erikseen. Hydrauliletkuissa suunniteltiin ottamaan letkut mukaan niillä liitettävien komponenttien osaluetteloihin, ja tällä tavalla siirtyä ajattelemaan komponentteja todellisina esivalmisteluina asennuksina. Tämä osoittautui kuitenkin vaikeaksi toteuttaa. Jotta letkutus olisi voitu siirtää suoraan komponenttien osaluetteloihin, olisi se vaatinut niiden ottamista huomioon 3D-ympäristössä. Ohjelmiston rajoitusten takia tämä on kuitenkin hankalaa. Yhtenä mahdollisuutena olisi ollut letkutusten kuvaaminen piirustuksissa pelkillä reititysviivoilla, mutta tämä ei olisi tuonut uusia etuja nykykäytäntöön. Näistä syistä päädyttiin esittämään letkujen nykyisen esitystavan jatkamista sekä asennuksen tukemista esimerkiksi valokuvilla ja videoilla.

3.6 Uuden tuotetiedonhallintajärjestelmän hyödyntäminen

Suurin käytännön muutos Teamcenter -ohjelmiston tullessa yhtiön pääasialliseksi PDM-järjestelmäksi tulee olemaan 3D CAD- ja PDM-ympäristöjen yhdistyminen. Uusi ohjelmisto mahdollistaa uusien ominaisuuksien hyväksikäytön myös tuoterakenteiden hallinnassa ja suunnittelussa. Tässä luvussa esitellään tuotetiedonhallintajärjestelmä Teamcenter 8.3:n ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää tulevaisuuden laitteiden tuoterakenteiden hallinnassa.

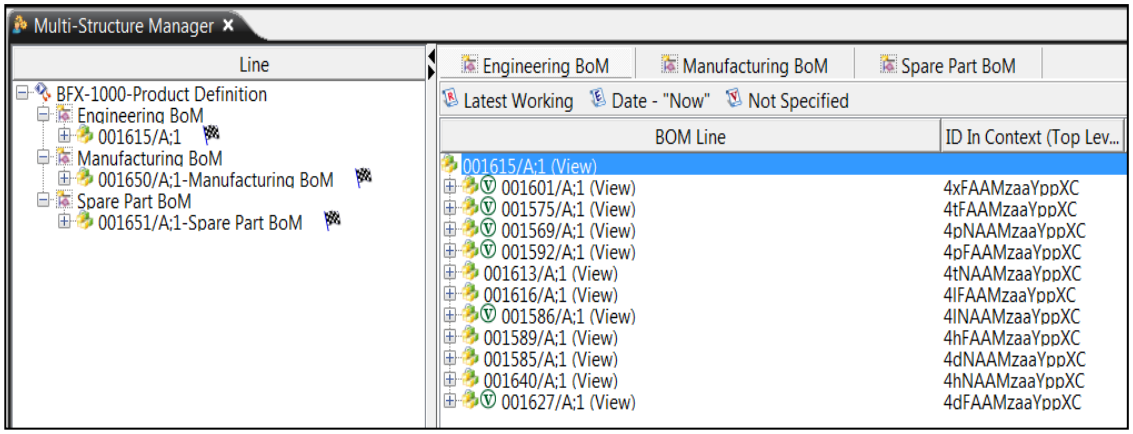
3.6.1 Tuoterakenteiden suodatus

Tuoterakenteiden suodattaminen on ominaisuus, jolla tuoterakenteesta voidaan luoda erilaisia näkymiä. Suodattaminen toisi helpotusta varsinkin niille tilaus-toimitusketjun toimijoille, jotka käyttävät tuoterakennetta suurimmaksi osaksi tiedonhakuun. Toisella alla kuvatulla menetelmällä todettiin kuitenkin olevan etuja myös eri toimijoiden työvaiheissa.

Suodatusominaisuus voidaan rakentaa ohjelmistoon kahdella tavalla, jotka molemmat alkavat geneerisen rakenteen luomisella. Ensimmäinen on nimikeattribuuttiperusteinen

suodatus, jossa PDM:n nimikkeiden luomisessa yhteydessä ne luokitellaan erilaisia tarkoituksia varten. Luokkien määrä ja nimitykset ovat vapaasti asetettavissa. Tällöin voidaan nimikkeille luoda attribuutteja, jotka ohjaavat sen esimerkiksi tuotannolliseksi tai varaosaksi. Tällä hetkellä vastaavanlainen käytäntö on olemassa nimikkeiden määrittelemisessä varaosiksi. Tehtäessä laiteyksilöstä vaihtoehtoisia rakenteita käytetään hyväksi nimikkeiden attribuutteja, mutta vaihtoehtoiset rakenteet kuitenkin noudattelevat master-rakenteen muotoa.

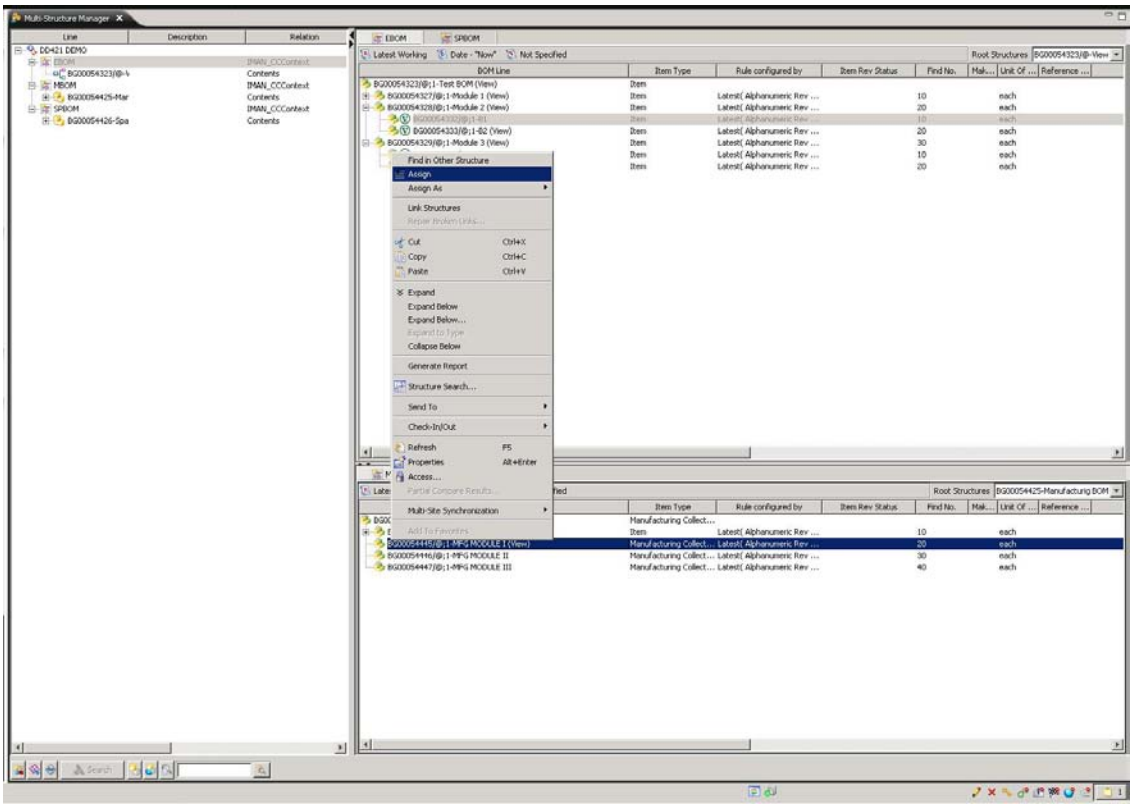
Toinen tapa on luoda järjestelmään valmiiksi tuoterakennepohjia eri käyttötarkoituksia varten. Näitä ohjataan Multi-Structure Managerin avulla. Sen avulla voidaan rakentaa erilaisia pohjia, joissa nimikkeet voidaan jakaa uusiin kokoonpanoihin. Lisäsovelluksena prosessissa käytetään IDEALin kehittämää BoM Occurence Mapperia, jolla voidaan automatisoida prosessia. Master-rakenteen, josta käytetään nimitystä Product Definition Container, ja suoraan sen alla olevien tuoterakennepohjien (Structure Context) luomisen jälkeen linkitetään master-mallien nimikerivit eri tuoterakennepohjien kokoonpanojen välillä. Kun laiteyksilön tuoterakennetta tehdään, järjestelmä luo automaattisesti ennalta tehtyjen linkkien perusteella vaihtoehtoiset tuoterakenteet.



Kuva 3.16 *Product Definition Container Multi-Structure Managerissa. [Siemens 2011]*

Ensimmäinen vaihtoehto on kahdesta yksinkertaisempi, sillä nimikkeiden luoja pystyy suoraan määrittelemään sen käyttötarkoituksen. Tämä saatetaan nähdä myös haittapuolena, sillä se antaa suuren vastuun nimikkeen luojalle, jolla ei välttämättä ole parasta tietämystä nimikkeiden luokittelemisesta. Tuoterakenteen suodattamisen tekee ongelmalliseksi vanhat nimikkeet, joiden attribuutit on aikanaan määritelty väärin. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa nimikkeiden jakaminen eri näkymiin johtaa epätäydellisiin näkymiin tai joidenkin nimikkeiden näkyminen väärissä näkymissä. Jälkimarkkinoinnin arvion mukaan todellisuudessa varaosiksi tarkoitetuista nimikkeistä jopa 70 % on perustettu ilman tätä attribuuttia. Nimikeattribuuttiperusteinen suodatus vaatii myös tuoterakenteen muodon huolellisen suunnittelemisen, sillä siinä ei enää

luoda uusia kokonaisuuksia vaan käytetään yhteen rakenteeseen tehtäviä kokonaisuuksia, joita valitaan eri tuoterakenteisiin käyttötarkoituksen mukaan.



Kuva 3.17 *Osakokonaisuuksien linkittäminen master-mallista muihin tuoterakennepohjiin.*

Toinen tapa vaatii henkilöresursseja tuoterakenteiden ylläpitoon. Tämä toisaalta vähentää virheiden mahdollisuutta eikä vaadi uusia resursseja, sillä yhtiöllä on tälläkin hetkellä työntekijöitä, joiden toimenkuvaan kuuluu tuoterakenteiden käsittely. Tuoterakennepohjilla pystytään ratkomaan myös nimikeattribuuttiperusteisen tuoterakenteiden suodattamisen ongelmaa eli dokumentointia. Vaikka jokaiselle nimikkeelle olisikin luotu dokumentti, on se kuitenkin tehty master-mallin viitekehyksessä. Nämä dokumentit seuraavat nimikkeitään, jolloin tulee eteen tilanteita, jossa koostettaessa nimikkeitä uusiin kokonaisuuksiin tulee tarve esittää uusi kokonaisuus yhdellä dokumentilla, jota ei kuitenkaan ole tehty. Esimerkiksi tuotannon kannalta yhtenäisen kokonaisuuden, esimerkiksi yhdessä työvaiheessa koottavan kokonaisuuden, esittämiseen tarvitaan yhden kuvan sijasta nyt useita.

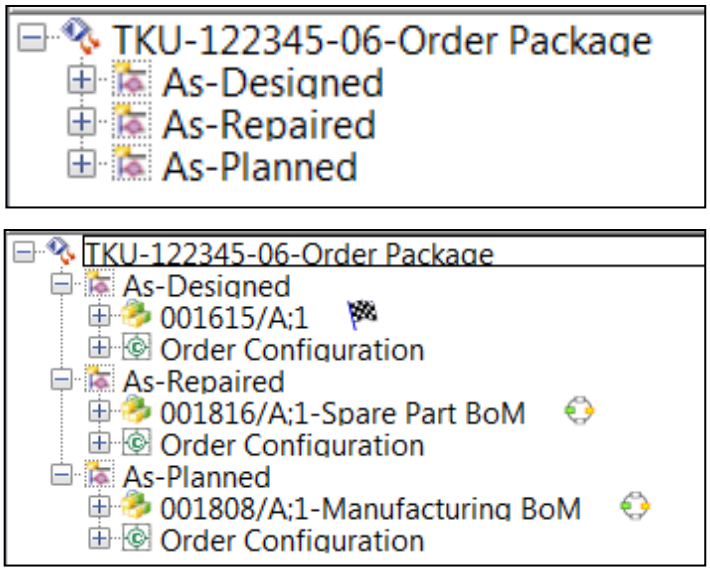
Ratkaisuna tähän voidaan käyttää BoM Occurence Mapperilla luotavia uusia osaluetteloita. Mikäli nimikkeiden 3D-mallit on tehty asianmukaisesti, syntyy geneeristä mallia konfiguroidessa myös kokonaisen laiteyksilön 3D-malli. Vaikka laiteyksilön nimikkeet koostettaisiinkin erilaisissa tuoterakenteissa eri paikkoihin, olisivat komponentit silti toisiinsa nähden oikeilla paikoillaan, mikäli laitteen geneerinen 3D-

malli luodaan oikein. Suunnittelun lähtökohdaksi otetaan laitteelle määriteltävä yleinen origo, johon kaikki konfiguroitavien kokonaisuuksien mallien origot sidotaan sen sijaan, että käytettäisiin *Mate*- tai *Assembly Constrain* -tyyppisiä kappaleiden geometriaan sitomisia. Kun laitteen malli siirretään toiseen tuoterakennepohjaan, tämä tunnistaa edellä mainitut sidokset. Uusista osaluetteloista syntyy näin myös automaattisesti 3D-malleja niiltä osin, kuin niissä olevilla nimikkeillä itsellään on malleja. Syntyneistä malleista voidaan tehdä dokumentaatiota 3D CAD:lla normaaliin tapaan.

3.6.2 Tuoterakenteiden luominen ja konfigurointi

PDM-järjestelmän perustehtäviä kuten tuoterakenteiden luomista varten sopii Teamcenterin Structure Manager. Se sopii hyvin alatason kokoonpanojen, kuten hitsaus-, koneistus- sekä muiden pienien kokoonpanojen muodostamiseen ja ylläpitämiseen. Structure Managerilla olisi mahdollista hallinnoida myös tuoteyksilöiden konfigurointia, mutta sen toiminta-ajatus on erilainen kuin edellä mainitussa BoM Occurance Mapperissa. Structure Managerilla luodaan edellisen tavoin konfiguroitaviksi tarkoitetuista kokoonpanoista geneerinen malli, josta tuotetaan halutut variantit. Prosessi ei kuitenkaan luo normaaliksi nimikkeeksi verrattavaa varianttia, vaan erityisen nimikkeen, josta käytetään nimitystä Variant Item. Ne ovat yhteydessä omaan geneeriseen malliinsa. Niitä ei pysty luomisensa jälkeen konfiguroimaan uudelleen, ja master-mallin eri revisiot tuottavat variantteja, joilla ei ole enää yhteyttä master-mallinsa muihin revisioihin tai näiden tuottamiin variantteihin.

Tulevaisuudessa pyrittäessä joustavuuteen ja muutosten helppouteen edellä kuvattu menetelmä ei vastaa tarpeita. Multi-Structure Managerissa on myös olemassa konfigurointimahdollisuus, mutta se toimii samalla periaatteella kuin Structure Managerin konfiguraattori. Sen on myös havaittu Teamcenter-projektin testiympäristössä käsittelevän huonosti Variant Item -tyyppisiä nimikkeitä.



Kuva 3.18 *BoM Occurence Mapperin työkierron valmiit tuoterakenteet suunnittelulle (As-Designed), varaosille (As-Repaired) ja tuotannolle (As-Planned). [Siemens 2011]*

Konfigurointi kannattaa suorittaa BoM Occurence Mapperin luoman master-mallin avulla. Sovellus luo Teamcenterin sovelluksista poiketen normaaleja Item-tyyppisiä nimikkeitä, joita pystyy muokkaamaan. Konfigurointia varten luodaan yksittäiselle tilaukselle työkierto, joka sisältää valmiit tuoterakennepohjat, ja jolle annetaan laiteyksilökohtainen tunnus. Tämä vastaisi nykyisessä tilaus-toimitusprosessissa laitteen tilausnumeroa. Oman ID-koodin ottaminen on toki mahdollista, mutta se loisi periaatteessa jäljitettävyyden kannalta turhan lisänimikkeen.

Kun laiteyksilö on konfiguroitu, sovellus luo automaattisesti työkiertoon erilaiset tuoterakenteet aiemmin luotujen pohjien mukaisesti. Työkiertomenettely helpottaa myös master-mallin ylläpitoa, sillä jokainen työkierto ei ole Teamcenterin tapaan automaattisesti kytköksissä master-malliin. Työkierroissa on erilaisia tuoterakenteita, jotka sisältävät tietyllä ajan hetkellä voimassaolevat nimikkeiden revisiot. Mikäli laitteen spesifikaatti muuttuu, työkiertomenettely mahdollistaa uudelleen konfiguroinnin ilman uuden laitetunnuksen luomista.

3.6.3 Tuoterakenteiden jäädyttäminen

Tällä hetkellä jo konfiguroitujen laitteiden tuoterakenteet elävät jatkuvasti, kun niiden kokoonpanot muuttuvat normaalin päivittämisen mukaan. Siksi onkin tarve ottaa käyttöön tuoterakenteiden jäädytysmenetelmä. Jo mainittu Multi-Structure Manager BoM Occurence Mapperin kanssa tekee tämän mahdolliseksi. Luotaessa uusi työkierto tietystä master-rakenteesta syntyy automaattisesti laiteyksilölle ominainen tunnus, jota voidaan tarpeen vaatiessa konfiguroida uudelleen. Se pitää sisällään myös kaikkien moduulien ja alakokoonpanojen revisiotiedot, joten taaksepäin jäljittäminen onnistuu.

4 KEHITYSEHDOTUKSIA

Työn yhteydessä syntyi useita kehitysideoita, joilla voidaan tehostaa toimintaa tuoterakenteiden hallinnassa. Vaikka työssä keskityttiinkin tulevaisuuden laitekantaan, on osa tässä esiteltävistä ideoista toteuttamiskelpoisia myös nykyisille laitteille.

PDM:n nimikkeiden muuttuvat attribuutistot

PDM-järjestelmään tallennetaan lukuisia erilaisia nimikkeitä, joilla on paljon erilaisia ominaisuuksia. Näiden kuvaaminen yhdenlaisella attribuutistolla on hankalaa ja jopa mahdotonta. Esimerkiksi sähköisissä komponenteissa kiinnostavia attribuutteja ovat jännite, taajuus ja virta, kun taas hydraulisilla niitä ovat painetaso ja tilavuusvirta. Nimikkeiden tyypin perusteella muuttuvat attribuutit selkiyttäisivät tilannetta eikä tulkinnanvaraisuuksia syntyi. Tätä mahdollisuutta on tutkittu myös Teamcenter -projektin yhteydessä.

Selkeät ja yksityiskohtaiset suunnitteluohjeet

Laitteiden suunnittelussa on jo nyt käytössä yhtiön luomat suunnitteluohjeet. Nämä ovat kuitenkin olleet pitkään päivittämättä, ja niistä huolimatta suunnittelukulttuurissa on havaittavissa paljon projektituotteiden suunnittelulle ominaisia piirteitä. Asiakaskohtaisten ominaisuuksien suunnitteluun käytetään suhteessa paljon aikaa ja yhden ominaisuuden lisääminen siirtää toista toiseen paikkaan laitteessa.

Suunnitteluohjeistus voidaan jakaa kolmeen kategoriaan:

- nimikkeiden perustaminen
- muutoshallinta
- mallintamiskäytäntö

Kahdesta ensin mainitusta on yhtiöllä olemassa kattavat ohjeistukset vaikka ne tosin täytyy päivittää Teamcenteriä varten. Mallintamiskäytäntö on kuitenkin edelleen kirjavaa. 3D CAD:n ja PDM-järjestelmän integroiminen tulee vaatimaan tarkat ohjeet mallien muodostamisesta, jotta niiden ja PDM-järjestelmän nimikkeiden yksikäsitteisyys säilyy. Suunnittelun tarkka ohjeistaminen luo perustan konfiguroituvan tuotteen valmistamiselle. Kaikkein tärkeintä on yhteisen linjauksen pitävyys laitteiden kehittämistarpeet huomioon ottaen.

Varianttien ja optioiden tarkastelu

Seuraavassa kuvailtua menettelyä voidaan käyttää apuna suuren varioituvuuden hallinnassa. Ensin jaetaan nykyisessä tuoterakenteessa olevat nimikkeet kolmeen luokkaan. Ensimmäiseen luokkaan sijoitetaan variantit ja optiot, joita tiedetään myytävän suuria määriä. Näiden kohdalla tehdään päätös niiden ottamisesta laitteiden vakiorakenteeseen. Toiseen ryhmään tulevat edellisestä poiskarsitut sekä optiot, jotka koetaan tärkeiksi asiakkaille. Nämä pidetään osana tuotetarjontaa ja aktiivisen päivittämisen alla. Kolmannen ryhmän muodostavat jäljelle jääneet. Nämä voidaan edelleen pitää valikoimassa mutta ne eroavat edellä mainituista siten, että niitä ei siirretä myynnin aktiiviseen käyttöön eivätkä ne ole enää aktiivisen päivittämisen piirissä. Tämän ryhmän kodalla joudutaan todennäköisesti siirtymään yksityiskohtaisista ratkaisuista ideatasolle, sillä aktiivisen päivityksen kohteena olevat osat saattavat muuttaa laitteen layoutia ja rajapintoja kaiken aikaa, mikä johtaa siihen, etteivät spesiaalituotteet enää hetken kuluttua sovi tuotteisiin ”add-on” -periaatteella. Ajatuksena on kuitenkin, että näiden erikoisoptioiden aktiivisen tarjoamisen vähentäminen ja päivittämättä jättäminen johtaa lopulta kysynnän vähentymiseen, jolloin ne poistuvat luonnollisella tavalla tarjonnasta.

Menettely ei luonnollisesti ole ainoastaan tekninen vaan myös tuotepoliittinen ratkaisu, sillä nimikkeiden uudelleenluokittelu näkyy väistämättä tuotteen hinnoittelussa. Joidenkin ominaisuuksien tarjoaminen optioina saattaa olla tuotepoliittisesti järkevää, sillä siitä saatava tuotto erillisenä osana on parempi, jolloin tällaisten ominaisuuksien suhteessa korkeampi hinnoittelu on perusteltua.

Tuoterakenteiden jäädytys ERP -järjestelmän avulla

Tällä hetkellä PDM-järjestelmään tallennetut tuoterakenteet muuttuvat sitä mukaa, kun niissä käytettyjä kokoonpanoja ja komponentteja päivitetään. Siksi onkin työlästä jäljittää tehtaalta lähteneiden laitteiden todellisia rakenteita, koska PDM:ssä näkyvät ainoastaan nimikkeiden käytössä olevat revisiot. Tuotannonohjausjärjestelmässä on tosin aina tallennettuna viimeisimmät tiedot tuotannossa olevista laitteista ja niiden revisioista. Tällä hetkellä kuitenkin PDM- ja ERP-järjestelmien tiedonsiirtoliikenne toimii ainoastaan edellisestä jälkimmäiseen. Toinen vaihtoehto tuoterakenteiden jäädyttämiseksi on luoda tiedonsiirtolinkki tuotannonohjausjärjestelmästä tuotetiedonhallintaan, ja kopioida viimeiseksi käytössä ollut laiteyksilön tuoterakenne PDM-järjestelmään.

Sähköinen geneerinen rakenne

Vietäessä laitteita konfiguroituvampaan suuntaan niistä pitää luoda PDM-järjestelmään geneeriset rakenteet, joiden perusteella laitteiden konfigurointi tapahtuu. Tällä hetkellä tällaisena toimiva MS Excel-taulukko on PDM -järjestelmästä irrallinen osa, jota pitää ylläpitää erikseen. Nykyisen tuoterakenteen käyttö sellaisenaan Teamcenterin konfiguraattoreilla on kuitenkin hankalaa (luku 3.1.3), mutta tulevaisuuden kannalta nykylaitteiden GBOM:n siirtäminen osaksi PDM-järjestelmää on perusteltu toimenpide.

JT-mallien hyväksikäyttö

Työssä kuvatun tuoterakenteiden suodatusmekanismin mukaisesti syntyneitä tuoterakenteen kokonaisuuksia voidaan käyttää hyväksi dokumentaatiossa myös 3D-muodossa. JT-mallit ovat kevennettyjä esityksiä 3D-mallista, jotka on suunniteltu nimenomaan mallien katselemiseen. Niihin on myös mahdollista lisätä ominaisuuksia kuten geometrian tunnistamista. Teamcenterin Viewer -sovelluksella voidaan katsella uusista osaluetteloista syntyneitä malleja. Esimerkiksi tuotantoa varten on mahdollista tehdä MBOM, joka vastaisi laitteen kokoamisen työvaiheita. Tällöin työvaiheen osaluetteloon koottaisiin ne komponentit, jotka ko. työvaiheessa tarvitaan. Muodostuneesta 3D-mallista tehdään JT-malli, jota voidaan käyttää asennuksen tukena.

Tuoterakenteiden suodatuksen laajempi käyttö

Käytettäessä tuoterakennetta pelkästään tiedonhaun välineenä sen muodolla ei juuri ole merkitystä mikäli tieto on haettavissa muilla tavoin. Teamcenterissa on olemassa hakutoiminto, jossa hakua pystyy tarkentamaan nimikeattribuuttien perusteella. Tuoterakenteiden suodattaminen attribuuttien avulla on myös mahdollista. Jo edellä mainitun suunnittelun ja tuotannon suodatuksen lisäksi suodattaminen voitaisiin ottaa käyttöön hankinnan työkaluna. Attribuutteja voidaan kehittää määrittelemään nimikkeitä laajastikin. Tilaus-toimitusprosessin toimijoiden lisäksi attribuutteja voidaan tehdä muun muassa erityyppisille komponenteille, kuten teräs-, hydrauli- ja sähkökomponenteille. Suodatusattribuuttien määrän kasvaessa nimikkeiden perustaminen monimutkaistuu ja virheiden mahdollisuus kasvaa, mutta oikein ohjeistettuna ja valvottuna menetelmä helpottaa tiedonhakua. Käytäntö on suhteellisen helppo toteuttaa nimikeattribuuttiperusteisella suodattamisella mutta yllä esitellyllä tuoterakennepohjilla tällainen suodattaminen on hankalaa; se merkitsisi tietyntyyppisten nimikkeiden sijoittamista tietyille riveille tuoterakenteessa, mikä tekee kokoonpanojen ja moduulien luomisesta ja ylläpitämisestä vaikeaa.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli muodostaa tuoterakenne, jota voitaisiin hyväksikäyttää tulevaisuudessa sekä kaivosjumbon että tuotantoporauslaitteen tuoterakenteena. Tavoitteena oli myös tuoterakenne, jota voitaisiin erinäisten menetelmien, kuten suodattamisen, avulla muokata tilaus-toimitusketjun eri toimijoille sopivaksi. Työn aikana onnistuttiin luomaan molemmille laitetyypeille soveltuva tuoterakenteen muoto, joka mahdollistaa laitteiden kuvaamisen samalla tavalla ottaen kuitenkin huomioon niiden erilaisuudet. Tuoterakenteiden suodattamiselle tutkittiin kahta menetelmää, joista uuden tuotetiedonhallintajärjestelmän moninäkymäsovelluksen ja sitä varten tehdyn lisäsovelluksen yhteiskäyttö täyttävät asetetut vaatimukset. Tällä tavoin voidaan lisäksi muodostaa 3D-mallien avulla valmiiksi kokonaisuuksia, joista voidaan tarvittaessa tehdä dokumentteja luoduista osakokonaisuuksista. Menetelmä vaatii kuitenkin 3D-mallien huolellisen luomisen ja tarkat säännöt niiden kokoamiselle moduulitasolla.

Tutkittaessa nykyisten laitteiden tuoterakenteita ja layoutia käy ilmi, että tässä työssä tarkastellut laitteiden asiakaskohtainen muuntelu on tällä hetkellä varsin työlästä. Syitä tähän löytyy niin yhtiön kuin laitteidenkin historiasta, laitteita kun ei alun perin ole suunniteltu muuntelua silmällä pitäen. Sama suuntaus on nähtävissä myös laitteiden tuoterakenteissa, jotka ovat eläneet omaa elämäänsä jossain määrin erillään itse laitteiden suunnittelusta.

Uuden sukupolven laitteiden suunnittelussa tulisi kiinnittää erityistä huomiota kahteen seikkaan: selkeän tuotepolitiikan luomiseen ja laitteen fyysiseen suunnitteluun sen perusteella. Edellinen ohjaa jälkimmäistä. Mikäli yhtiön tuotepolitiikkaan kuuluu monien erilaisten asiakasvaatimusten toteuttaminen, on hyväksyttävä laitteen tuoterakenteiden suuri varioituvuus. Tällöin tuoterakenteen suunnittelulla pystytään vaikuttamaan suunnittelun ja ylläpidon helppouteen vain vähän, ja tuotanto ohjautuu projektituotteiden valmistamisen suuntaan. Mikäli taas halutaan keskittyä helposti muokattaviin ja nopeasti valmistettaviin laitteisiin, on erilaisten asiakasvaatimusten tyydyttämisestä tingittävä. Varioituvuutta on pakko vähentää, ja laitteen fyysisen suunnittelun on tuettava asiakaskohtaista muuntelua keskenään vaihtokelpoisilla kokonaisuuksilla sekä niiden tarkasti määritellyillä rajapinnoilla. Jälkimmäisen suuntauksen vaatimukset pätevät toki projektituotteidenkin kehittämisen osalta, mutta niihin käytettävän työmäärän hyödyt eivät välttämättä ole yhtä helposti todennettavissa.

Varioituvuus luo haasteita tuoterakenteelle tuotepoliittisista ratkaisuista huolimatta, ja sen hallinta on keskeisessä asemassa tulevaisuuden laitteiden suunnittelussa. Luotaessa uutta tuoteperhettä on pyrittävä varioituvuuden rakentamiseen yhtenäisyyksien kautta. Samojen komponenttien, kokoonpanojen tai jopa moduulien käyttöä yli laiteperheiden on otettava yhdeksi suunnittelun päätähtäimeksi. Tuotteisiin tuleva varioituvuus ja sen hallinta tuleekin suunnitella etukäteen.

Selkeät säännöt tuoterakenteen luomisessa ja ylläpidossa ovat edellytyksiä tämän käytettävyyden kannalta. Ilman ohjeistusta esimerkiksi kokoonpanojen koostamisessa tai nimikeattribuuttien, kuten varaosamerkintöjen, käytöstä tuoterakenteen systematiikka voi hajota. Tällöin sen ylläpitäminen ja käyttäminen tiedonhaussa muodostuu mahdottomaksi.

Laitteiden tuoterakenteiden ja suunnittelun yhdistäminen vaatii huolellista etukäteissuunnittelua. Valitulla tuoterakenteella käytäntö johtaa useampiin kokonaisuuksia ja niiden piirustuksiin. Suurimmiksi ongelmakohdiksi nousevat käytössä olevien suunnittelutyökalujen rajoitukset. Menettelyn tueksi löydettiin kuitenkin toimivia työkaluja, ja sille on osoitettavissa niin paljon etuja läpi koko tilaus-toimitusketjun, että siihen käytettävien resurssien osoittamista on syytä vakavasti harkita.

LÄHTEET

KIRJALLISUUS

[Andreasen et al. 1996] Andreasen, M.M., Hansen, C.T., Mortensen, N.H. 1996. On the identification of product structure laws. In Proceeding of 2nd Workshop on Product Structuring. The Laboratory of Production Engineering and Industrial Organisation. Delft University of Technology.

[Andreasen et al. 1997] Andreasen, M.M., Hansen, C.T., Mortensen, N.H. 1998. On the identification of product structure laws.In Proceeding of 3rd Workshop on Product Structuring. The Laboratory of Production Engineering and Industrial Organisation. Delft University of Technology.

[Crnkovic et al. 2003] Crnkovic, I., Asklund, U., Persson-Dahlqvist, A. 2003. Implementing and Integrating Product Data Management and Software Configuration Management. Artech House Inc. 338s.

[Da Silveira et al. 2001] Da Silveira, G., Borenstein, D., Fogliatto, F.S. 2001. Mass customization: Literature review and research directions, Int. J. Production Economics.

[Duray et al. 2000] Duray, R., Ward, P.T., Milligan, G.W., Berry, W.L. 2000. Approaches to mass customization: configuration and empirical validation. Journal of Operations Management.

[Hubka et al. 1988] Hubka, V., Eder, W.E. 1988. Theory of technical systems - a total concept theory for engineering design. Springer-Verlag, Berlin.

[Huhtala & Pulkkinen 2009] Huhtala, P., Pulkkinen, A. 2009. Tuotettavuuden kehittäminen - Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta. Teknologiateollisuus ry. 431s.

[Juuti 2008] Juuti, T. 2008. Design Management of Products with Variability and Commonality. Väitöskirja. Tampere University of Technology.

[Juuti et al. 2006] Juuti, T., Lehtonen T. 2006 Using multiple modular structures in delivering complex products. Proceedings of NordDesing 2006, University of Iceland, Reykjavik.

[Lehtonen 2007] Lehtonen, T. 2007. Designing Modular Product Architecture in the New Product Development. Väitöskirja. Tampere University of Technology. 229s.

[Lehtonen et al. 2003] Lehtonen, T., Juuti, T., Pulkkinen, A., Riitahuhta A. 2003. Dynamic Modularisation – a Challenge for Design Process and Product Architecture. Proceedings of ICED03, Stockholm.

[Miller & Elgård 1998] Miller, T., Elgård, P. 1998. Defining Modules, Modularity and Modularization. Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, Fuglsoe.

[Ogot 2004] Ogot, M. 2004. EMS Models: Adaptation Of Engineering Design Black-Box Models For Use In TRIZ. In Proceedings of ETRIA TRIZ Futures 2004 Conference, Florence, Italy.

[Pahl & Beitz 1986/90] Pahl, G., Beitz, W. 1986. Kontruktionslehre, Handbuch fur Studium und Praxis. 2. auflage. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg. Suomenkielinen käännös: Konttinen, U. 1990. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 608s.

[Peltonen et al. 2002] Peltonen, H., Martio, A., Sulonen, R. 2002. PDM – Tuotetiedonhallinta. Edita Prima Publishing. Helsinki. 169s.

[Pulkkinen 2007] Pulkkinen, A. 2007. Product Configuration in Projecting Company: The Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process. Väitöskirja. Tampere University of Technology.

[Riitahuhta 1997] Riitahuhta, A. 1997. Design for configuration. Konstruktionsdag, DTH, Lyngby, Denmark

[Riitahuhta & Pulkkinen 2001] Riitahuhta, A., Pulkkinen, A. 2001 Design for Configuration; A Debate based on the 5th Workshop on Product Structuring, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 222 pages

[Sandvik 2011] Sandvik Mining and Construction Oy. Sisäinen materiaali. Viittaukset tarkastettu 13.5.2011.

[Siemens 2011] Bom Occurance Mapper – User Instruction. Siemens Product Lifecycle Management Corporation Inc.

[Skjelstad et al. 2005] Skjelstad, L., Hagen, I., Alfnes, E. 2005. Guidelines for achieving a proper mass customisation system. Proceedings from EurOMA International Conference on Operations and Global Competitiveness. Budapest.

[Skjevdal & Idshoe 2005] Skjevdal, R., Idshoe, E.A. 2005. The Competitive Impact of Product Configurators in Mass tailoring and Customization Companies. Department for Economics and Logistics. SINTEF Technology and Society.

[Slack et al. 2007] Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. 2007. Operations Management. Viides painos. Pearson Education Limited. 728s.

[Sääksvuori & Immonen 2002] Sääksjärvi, A., Immonen, A. 2002. Tuotetiedonhallinta – PDM. Talentum Media Oy.

[Steger-Jensen et al. 2004] Steger-Jensen, K., Svensson, C. 2004. Issues of mass customisation and supporting IT-solutions. Computers in Industry, vol 54.

[Stone 1997] Stone, R. 1997. Towards a Theory of Modular Design. Doctoral Thesis. The University of Texas at Austin. USA.

[Tanner & Wienker 2008] Tanner, H.R., Wienker, R.G. 2008 Mastering the Configuration of Variant-Rich Products by Modularization Part 2: Approach and Methodology. Translation of Complexity Management Journal Issue 05/2008

[Thomke 1997] Thomke, S. H. 1997. The role of flexibility in the development of new products: an empirical study. *Research Policy*. 26. Harvard University.

[Tiihonen 1999] Tiihonen, J. 1999. Kansallinen konfigurointikartoitus – asiakaskohtainen muuntelu suomalaisessa teollisuudessa. Lisensiaatintyö. Teknillinen Korkeakoulu, Helsinki.

[Tiihonen et al. 1997] Tiihonen, J., Soininen, T. 1997. Product Configurator – Information System Support for Configurable Products. Teknillinen Korkeakoulu, Helsinki.

[Ulrich & Tung 1991] Ulrich, K., Tung, K. 1991. Fundamentals of Product Modularity. DE-Vol 39, Issues in Desing/Manufacturing Integration. ASME, New York.

[Virtanen 2010] Virtanen, E. 2010. Ohjaamokokoonpanon kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

[Whitney 2004] Whitney, D.E. 2004. Mechanical Assemblies – Their Design, Manufacture, and Role in Product Development Oxford Series on Advanced Manufacturing. Oxford University Press.

HAASTATTELUT

Sandvik Mining and Construction Oy Tampere

Tuotelinja: Ulla Korsman, tuotelinjapäällikkö; Jussi Puura, tuotepäällikkö

Suunnittelu:
Uustuotesuunnittelu: Sami Järventausta, suunnittelupäällikkö; Juha Piipponen, suunnittelupäällikkö Tero Yli-Hannuksela, projekti-insinööri; Jyrki Perälä, suunnitteluinsinööri.
Nykytuotesuunnittelu: Pasi Vuojela, suunnittelupäällikkö; Pertti Lyytikäinen, tuoteinsinööri; Anssi Kouhia, tuoteinsinööri; Jenni Lankinen, suunnittelija; Pauli Peltomäki, suunnitteluinsinööri; Henry Pulkkinen, suunnitteluinsinööri; Niko Mattila, suunnitteluinsinööri; Tapio Parkkinen, suunnitteluinsinööri.
Hydrauliikka: Jari Lepistö, suunnittelupäällikkö; Kimmo Koskinen, suunnitteluinsinööri; Juha Pölönen, suunnitteluinsinööri; Riitta Gröhn, suunnittelija; Juho Seppälä, suunnitteluinsinööri.
Sähkö: Timo Niemi, suunnittelupäällikkö; Jukka Osara, projekti-insinööri; Timo Rautiainen, sähkösuunnittelija; Jarno Viitanen, suunnitteluinsinööri.
Automaatio: Jouko Muona, projekti-insinööri; Tommi Säleniemi, järjestelmäsuunnittelija; Teppo Väliharju, järjestelmäsuunnittelija.

Tuotanto: Anne Kuosmanen, tuotannonohjauspäällikkö; Jani Berkovits, projektipäällikö; Juho-Pekka Pöyry, projektipäällikkö/tuotannonkehityspäällikkö; Pekka Karvinen, tuotannonohjaaja; Pirjo Laukkanen, rakennekäsittelijä; Petri Niemistö, insinöörityöntekijä/tuotantoinsinööri.

Hankinta: Juhana Lemmetyinen, hankinnankehitysinsinööri.

Jälkimarkkinointi: Marko Ylinen, documentation manager; Laila Jylhä, tekninen asiantuntija; Rauno Vanhatalo, tekninen asiantuntija; Kimmo Puskala, tekninen asiantuntija; Juha-Pekka Vilpas, varaosa-asiantuntija.

IT: Markku Vierimaa, senior project manager; Sami Karhu, project manager; Markku Aronen, CAD-tukihenkilö.

Tampereen teknillinen yliopisto

Timo Lehtonen, yliopistonlehtori, Tuotantotekniikan laitos.